

Normalwerte
der Atemwiderstandsmessungen
und deren Schwankungsbreite

von

HELGA von STETTNER-GRABENHOFEN

1957

Aus dem Institut und Poliklinik für Physikalische
Therapie und Röntgenologie der Universität München

Direktor: Professor Dr.H.v.B r a u n b e h r e n s

Normalwerte der Atemwiderstandsmessungen und deren
Schwankungsbreite.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin verfasst und einer Hohen Medizinischen
Fakultät der Ludwig - Maximilians - Universität
zu München
vorgelegt

von

Helga von Stettner - Grabenhofen
aus Augsburg

1957

Mit der Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität München

Referent: Priv. Doz. Dr. F. E. Stieve

Korreferent: Prof. Dr. H. v. Braunbehrens

Dekan: Prof. Dr. W. Bickenbach

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juni 1957

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.



Inhaltsübersicht.

A. Einleitung.....	7
B. Physiologie der Atmung und Bau der Bronchialwand....	8
C. Entwicklung der Atemwiderstandsmessung.....	12
I. Physikalische Grundlagen.....	12
II. Der Pneumotachograph von Fleisch.....	16
III. Bestimmung des Alveolardruckes.....	17
IV. Neuere Messmethoden.....	17
a) von Neergard und Wirz.....	18
b) Vuilleumier.....	19
c) Otis and Proctor u.a.	20
V. Verwandte Methoden.....	21
a) Spirometrie.....	21
b) Atemgrenzwert.....	22
c) Expirationsstoss von Hadorn.....	23
d) Tieffeneautest.....	23
D. Messmethode nach Dirnagl und Methodik der statisti- schen Verarbeitung der Messwerte.....	24
I. Atemwiderstandsmessung nach der Methode von Dirnagl.....	24
II. Auswertung der Pneumotachogramm kurve	27
III. Exkurs über statistische Methoden.....	28
E. Aufgaben der Reihenuntersuchung.....	36
F. Der untersuchte Personenkreis.....	37
G. Ergebnisse der Atemwiderstandsmessungen und der statistischen Berechnung.....	41
1. Angabe eines allgemeinen Mittelwertes.....	41
2. Verteilung der Messwerte.....	43
3. Untersuchungen ob ein Unterschied besteht zwi- schen.....	47
a) männlichen und weiblichen Versuchspersonen....	47
b) Inspiration und Expiration.....	47
c) Rauchern und Nichtraucher.....	48

4. Abhängigkeit des Atemwiderstandes von:.....	51
a) Alter.....	51
b) Tagesrhythmus.....	52
c) Wochenrhythmus.....	60
5. Untersuchungen zur Klärung der Frage nach Wetter- abhängigkeit des Atemwiderstandes.....	60
a) Temperatur.....	62
b) Luftfeuchtigkeit.....	66
c) Luftdruck.....	66
d) Frontendurchgänge, Gewitter.....	68
e) Ultralangwellenstörungen.....	68
f) Korrelation mit Bad Tölz.....	70
H. Vergleich der eigenen Ergebnisse der Atemwiderstands- messungen mit denen anderer Autoren.....	72
I. Zusammenfassung.....	74
Schrifttum.....	78
Lebenslauf.....	85

A. Einleitung

Früher stellten die Ärzte ihre Diagnosen aus der einfachen Untersuchung, Beobachtung und der Vorgeschichte des Patienten.

Die moderne Medizin bemüht sich den Befund eines Kranken durch spezielle Untersuchungsmethoden zu erhärten. Sie zeigt immer mehr das Bestreben physiologische und pathologische Vorgänge quantitativ zu erfassen und ihre gegenseitigen Beziehungen zu ermitteln.

"Die Entwicklung dieser Arbeitsmethode", sagt A n t h o n y in seinem Buch "Funktionsprüfung der Atmung" (1), "ist zum Teil auch durch die Erkenntnis gefördert worden, dass die einfache Beobachtung des Kranken im Zusammenhang mit der Vorgeschichte vielfach nicht mehr ausreicht, um einen Krankheitszustand in jeder Beziehung zu beurteilen. Infolgedessen sind zahlreiche Untersuchungsmethoden entwickelt und durch fortgesetzte Verbesserungen vervollständigt worden."

Es ist notwendig zuerst den physiologischen Ablauf der Funktionen des menschlichen Organismus zu kennen um daraus pathologische Abweichungen festzustellen. Die Anwendung funktioneller Untersuchungsmethoden, wie sie u. a. von B e e r (4), D i r k e n (9) und E n g l h a r d (12) angegeben werden, zeigt die Bedeutung der Funktionsstörungen.

Für den Arzt ist vielfach nichtso sehr entscheidend, dass ein biologischer Vorgang krankhaft verläuft, sondern wichtiger ist, in welchem U m f a n g der normale Vorgang gestört ist, um therapeutische Massnahmen zu ergreifen.

In der hier vorliegenden Arbeit wurden, auf Anregung von Herrn Priv. Doz. Dr. med. F. E. S t i e v e Atemwiderstandsmessungen an gesunden Versuchspersonen durchgeführt. Die aus den Pneumotachogrammkurven erhaltenen Normalwerte wurden ausgewertet und auf ihre Schwankungsbreite untersucht.

B. Physiologie der Atmung und Bau der Bronchialwand.

Die Atemluft gelangt durch Nase, Rachen, Kehlkopf, Trachea, Bronchien und Bronchiolen zu den Alveolen der Lunge. In den Alveolen findet erst der Gaswechsel statt. Die zuführenden Luftwege sind vom Gesichtspunkt des Gasaustausches gesehen 'toter Raum' und dienen der Reinigung, Erwärmung und Befeuchtung der Einatemungsluft, sowie dem Abtransport der Ausatemungsluft in Richtung auf den Mund (F e l i x 14; R e i n 44).

Die Aufgabe des Bronchialbaumes als Luftweg ist die Zufuhr der Luft zu den respiratorischen Gebieten in den Alveolen mit möglichst geringem Totraum und Luftwiderstand. Die Weite des Bronchialbaumes bestimmt teilweise das Mass der Belüftung der einzelnen Lungenpartien. Der Verschluss an irgend einer Stelle des Leitungssystems hat den funktionellen Ausfall eines mehr oder weniger ausgedehnten Lungenbezirktes zur Folge. Eine allgemeine Verengung des Bronchialkalibers führt zu einer allgemeinen Erhöhung des Strömungswiderstandes für die Atemluft, wie z. B. beim Asthma bronchiale, Emphysem etc. (W y s s und S c h m i d 63; S u l z e r 57). Untersuchungsergebnisse über die Zusammenhänge zwischen Atemwiderständen und Erkrankungen der Atemwege sind von J u n g e und H a s l r e i t e r (31) und R e i n d l (45) beschrieben.

Bei allzu grosser Weite des Bronchiallumens wird infolge der Totraumvergrösserung die alveoläre Ventilation empfindlich gestört.

Wie W y s s (65) gezeigt hat, wird die Bronchialweite durch passive und aktive Faktoren geregelt. Die Bronchialmuskulatur, gesteuert durch den parasympatischen Vagus (B a n g e 2; S t u r m 55), reguliert die Atmungswege, greift aber selbst in die Atembewegung nicht ein. Durch Kontraktion dieser glatten Muskulatur wird der schädliche Raum verkleinert, der

Atemwiderstand aber, der sich dem Ein- und Ausströmen der Luft entgesetzt, vergrössert.

Jede Atembewegung führt zu Kaliberschwan- kungen (S t u t z 56). Beim Einatmen wirkt der Tonus der Bronchialmuskulatur den Inspirationskräften entgegen, dadurch kommt es zu einer vermehrten Entfaltung der Alveolen und Kapillaren. Damit wird der Gasaustausch begünstigt. In Abb. 1 ist die synergistische Wirksamkeit zwischen Inspiration und Bronchokonstriktion dargestellt (nach O.A.M. W y s s 65, bzw. F. W y s s 64).

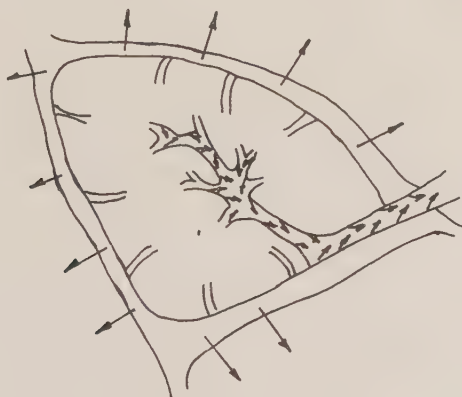


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Lungenläppchens mit zugehörigem Bronchiolus.

Die inspiratorische Dehnung der Alveolen ist nicht nur abhängig von der Grösse der Inspirationskraft (lange Pfeile), sondern auch vom Ausmass des gegensinnig wirkenden Tonus der Bronchialmuskulatur (kurze Pfeile).

Bei der Expiration nimmt der bronchokonstriktorische Tonus ab. Diese physiologische Wirkung der Bronchialmuskulatur hat schon H e r r m a n n (27) beschrieben.

Bau der Bronchialwand.

Die Bronchialwand besteht im wesentlichen aus drei Schichten (v. H a y e k 24; S n o w M i l l e r 52; H e i s s 25), nämlich der Mukosa, der Muskularis und der knorpeltragenden Faserschicht. Zwischen diesen Hauptschichten sind Verschiebeschichten, die Submucosa, die Extramuskularis und das Peribronchium, gelagert. Die grossen Bronchien weisen reichlich Schleimdrüsen auf. Ärmer an Drüsen sind die kleinen Bronchien, bei ihnen ist dafür die muscularis dicker und enthält ein reiches Venengeflecht. Den Bronchioli fehlen schliesslich die Drüsen vollständig, die Bronchiolarwand ist in das umgebende Lungengewebe eingebaut.

Faserhaut und Schleimhaut sind Träger der Längsspannung; Muskel- und Faserhaut regulieren zusammen die Weite; Schleimhaut und alle drei Verschiebeschichten tragen das Abwehrorgan des lymphatischen Gewebes.

Nach der Grösse der Bronchi unterscheiden sich verschiedene Bautypen, die ohne scharfe Grenze ineinander übergehen. Die tunica mucosa, bestehend aus Basalmembran und gefässreichem stratum proprium, trägt das mehrschichtige Flimmerepithel mit Becherzellen. Gegen die Peripherie zu nimmt die Höhe des Epithels ab und werden die Becherzellen weniger. Ferner sieht man sehr häufig Schleimhautdivertikel in den Bronchi und Bronchioli, umgeben von einem Lymphocytenwall. v. H a y e k (24) prägte für sie den Namen 'tonsilla pulmonis'.

Die glatten Muskelfasern verlaufen in den grossen Bronchien vorwiegend quer, in den kleinen Bronchien nehmen die Muskelfasern einen schraubenförmigen Verlauf, wodurch das Bronchiallumen beeinflusst werden kann. Die Muskelfaserzellen sind alle stark glykogenhaltig.

Die gesamte Lungenmuskulatur wird innerviert durch den parasympatischen Vagus (B u c h e r 8).

Die Faserschicht verleiht dem Bronchus seine Festigkeit. Sie besteht aus elastischen und kollagenen Fasern, die ins Perichondrium der Knorpelstücke einstrahlen (W y s s 64).

C. Entwicklung der Atemwiderstandsmessung.

I. Physikalische Grundlagen.

In der Ruhe herrscht im Respirationstrakt ein Gleichgewichtszustand, der bei der Ein- und Ausatmung aufgehoben wird. Zwischen Alveolen und Aussenluft besteht dann ein Druckunterschied, der sog. Alveolardruck. Seine Grösse ist abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft und von den Widerständen, die die Atemwege der durchströmenden Luft entgegenbringen.

Beim ruhigen Einatmen wird die Luft in die Lungen durch die sich entfaltenden Alveolen hineingesogen. Dabei ist der Druck am Munde gleich dem atmosphärischen; er nimmt dann langsam ab, bis er in den Alveolen sein Minimum erreicht, d. h. er wird gegenüber dem atmosphärischen Druck negativ.

Bei forcierter Inspiration sind die Verhältnisse prinzipiell dieselben, die Atemhilfsmuskeln treten synergistisch mit den thorakalen in Aktion (G u c k e l b e r g e r 20).

Die Expiration erfolgt in der Hauptsache passiv. Als fördernde Faktoren treten die elastischen Kräfte von Lunge und Thorax in Erscheinung. Hemmend wirkt sich der Strömungswiderstand aus. Beim Ausatmen ist der Druck in den Alveolen am grössten, also positiv. Im Augenblick des Phasenwechsels oder bei einer Atempause sind der Atmosphärendruck und der Alveolardruck gleich gross.

Bei maximaler Expiration sind aktive Muskelkräfte von Anfang an vorhanden, was für die normale Expiration keineswegs zutrifft. Dadurch kann eine Erhöhung des Alveolardruckes eintreten, am sonstigen Mechanismus ändert sich jedoch nichts.

Im allgemeinen dauert die Expiration länger als die Inspi-

ration. Das Verhältnis von Inspiration zu Expiration beträgt nach S t ä h e l i n und S c h ü t z e (54) durchschnittlich 100 : 135 (extrem 100 : 106 und 100 : 208). Die Expiration dauert rund 15 % länger.

Die Stromgeschwindigkeit ist bei der Inspiration höher als bei der Expiration (in Ruhe!), die mittlere Geschwindigkeit ist für die Inspiration 330 und für die Expiration 278 l/min.

Wie entsteht der intraalveoläre Druck?

Normalerweise herrscht im Pleuraraum ein Unterdruck, wodurch die beiden Pleurablätter eng aneinander liegen. Durch die Flüssigkeit im Pleuraspaltraum werden die Bewegungen von Zwerchfell und Brustkorb auf die Lungen übertragen. Der Alveolardruck muss die Strömungswiderstände überwinden, welche die Atemwege der strömenden Luft entgegenbringen. Er ist also vom Strömungswiderstand und von der Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft abhängig.

An Hand eines Schemas von P r o c t o r, H a r d y and M c L e a n (41, 42) seien die an der Atemdynamik beteiligten Kräfte aufgezeigt. (Abb. 2).

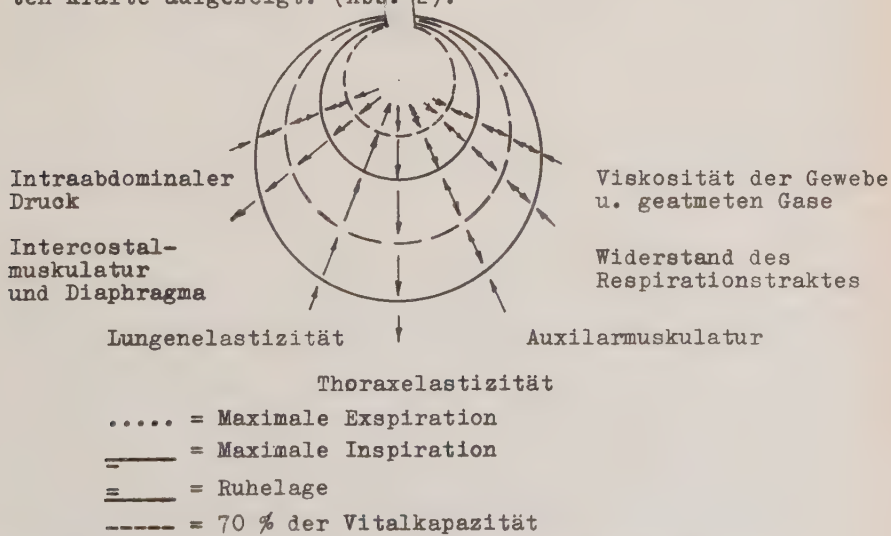


Abb. 2: Die an der Atemdynamik beteiligten Kräfte.

In jeder Richtung wirken die Viskosität der Gewebe und gasatmeten Gase, der Widerstand des Respirationstraktes und der intraabdominale Druck der Atemluft entgegen. Bei forcierter Atmung tritt sowohl inspiratorisch als auch expiratorisch die Auxiliärmuskulatur in Kraft. Fördernd für die Inspiration sind die Interkostalmuskeln und das Zwerchfell. Als inspiratorische Hemmungskräfte sind in erster Linie die elastischen Widerstände von Thorax und Lunge zu nennen (G u c k e l b e r g e r 19, 20). Bei der ruhigen Atmung jedoch, fördert die Thoraxelastizität die Inspiration und hemmt die Expiration. Ist die Lunge bis zu 70 % der Vitalkapazität gefüllt, hemmt die Thoraxelastizität die weitere Füllung und fördert die Ausatmung. Eine genaue Grösse dieser Kräfte ist noch unbekannt, man weiss lediglich, dass bei ruhiger Einatmung und Ausatmung die Lungenelastizität durch die Thoraxelastizität aufgehoben wird. (R a h n, O t i s, C h a d w i c k und F e n n 43).

Die inspiratorischen Hemmkräfte nehmen nach R o h r e r (46) linear mit der Erweiterung von Lunge und Thorax zu, werden also mit zunehmender Inspiration immer grösser. Neben diesen statischen Widerständen gibt es noch die dynamischen - die Strömungswiderstände, welche nach R o h r e r (46) vom Querschnitt der Bronchien und der Atemstromgeschwindigkeit abhängen.

Zur Bestimmung des Strömungswiderstandes im Bronchialsystem, muss man die Atemstromstärke kennen und den Alveolardruck messen.

R o h r e r (47) hat sich als erster damit beschäftigt, die Strömungsverhältnisse in den Atemwegen zu messen. An Modellen, Tieren und Leichen bestimmte er durch exakte Ausmessung die erforderlichen Grössen zur Bestimmung des alveolären Druckes. Seine Untersuchungen zur Atemmechanik, welche er bereits 1915 machte, haben heute noch grundlegende Gültigkeit.

Seine Beobachtungen wurden später von anderen Forschern, wie

v. Neergard und Wirz 38, Vuilleumier 59 u.a. am lebenden Menschen nachgeprüft und bestätigt.

Der Strömungswiderstand in den oberen Luftwegen ist von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft, infolge ihrer starken Verwirbelung abhängig; in den unteren Luftwegen herrscht allgemein laminare Strömung. Bei laminaren Strömungen lässt sich der Widerstand aus dem Alveolardruck : Strömungsgeschwindigkeit berechnen. Der Strömungswiderstand ist bei laminaren Strömungen nach dem Poisseulleschen Gesetz:

$$w = \frac{P}{v}$$

$$p = \frac{8 \cdot l \cdot \eta \cdot v}{\pi \cdot r^4}$$

$$v = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot p}{8 \cdot l \cdot \eta}$$

v = Volumengeschwindigkeit

r = Rohrradius (Bronchialweite)

l = Rohrlänge

p = Druckgefälle

= Viskosität (konstant)

w = Widerstand

Bei laminaren Strömungen hängt der Widerstand also von der 4. Potenz des Rohrdurchmessers ab.

Bei der Atemwiderstandsmessung am Lebenden kann man aber den Widerstand der unteren Luftwege allein nicht messen, sondern nur den Gesamtwiderstand, der aus der Widerstandssumme aller Abschnitte der Luftwege resultiert. Dennoch kann man aus diesem Gesamtwiderstand der Atemwege mit gewissen Fehlergrenzen auf die Weite der Bronchien in den unteren Luftwegen schliessen. In den oberen Luftwegen bewirkt die wirbelbildende Luftströmung nur eine minimale Änderung des Rohrdurchmessers und ausserdem sind die individuellen und zeitlichen Querschnittsunterschiede sehr gering, so dass keine allzu grosse Fehlerquelle entsteht.

Bei normalen Verhältnissen, wenn z. B. keine pathologische Einengung der Trachea vorliegt, ist der Hauptanteil des Atemwiderstandes in den feineren Verzweigungen des Bronchialbaumes lokalisiert. Allerdings kann die Stimmritze den Widerstand noch beeinflussen. Vuilleumier (59) konnte aber

nachweisen, dass unter normalen Versuchsbedingungen die Stimmritze automatisch von der Versuchsperson in Optimalstellung gehalten wird.

Der Atemwiderstand kann dann berechnet werden, wenn in einem bestimmten Zeitpunkt der Atemphase die Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft und der Alveolardruck bekannt sind.

Eine genaue fortlaufende Registrierung der Strömungsgeschwindigkeit ist durch den Pneumotachographen von Fleisch (15, 16, 17) möglich.

II. Der Pneumotachograph von Fleisch (16, 17).

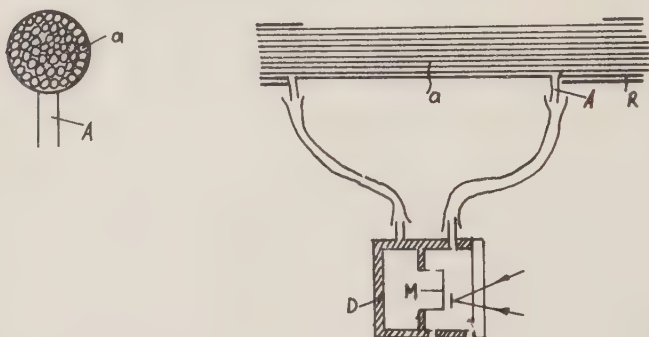


Abb. 3: Pneumotachograph von Fleisch.

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| R = Messingrohr | A = Ansatzröhrchen |
| a = Röhrchensystem aus Al | G = Gummischlauch |
| D = Differentialmanometer | M = Kondomgummimembran |

Der Pneumotachograph besteht aus einem Röhrensystem, durch das hindurch geatmet wird. Je nachdem, ob es sich um eine normale oder eine verstärkte Atmung handelt, wird ein verschieden grosses Röhrensystem verwendet, nämlich 27, 37 bzw. 69 Aluminiumröhrchen, um unter optimalen Bedingungen zu arbeiten. Die Differentialkapsel dient zur optischen Registrierung der Ausschläge der Gummimembran.

Der Pneumotachograph ist auf dem Prinzip der Poisseuille'schen Formel aufgebaut. Die Eichung des Pneumotachographen muss nur einmal durchgeführt werden, wenn zugleich die Druckempfindlichkeit der Gummimembran M bestimmt worden ist. Beim Wechseln der Gummimembran braucht nur die Druckempfindlichkeit neu bestimmt werden. Die Eichungskurve kann dann einfach proportional zur neuen Druckempfindlichkeit der Membran umgerechnet werden.

III. Bestimmung des Alveolardruckes.

Schwieriger ist die Bestimmung des Alveolardruckes. Eine direkte Bestimmung durch Punktion einer Alveole ist, aus naheliegenden Gründen, nur im Tierversuch möglich. Diese Bestimmung auf blutigem Wege wurde von V u i l l e u m i e r (59) beschrieben.

S o n n e (53) war einer der ersten, welcher den Alveolardruck auf indirektem Wege gemessen hat. Er schloss die Versuchsperson in ein Zylindergefäß ein und registrierte die, durch die Atmung bedingten, Volumschwankungen. Gleichzeitig wurde die Atmung spiographisch aufgezeichnet. Die Differenz der beiden Volumkurven entsprach dem Ausmass der Kompression bzw. Dekompression der Lungen.

Die Methode ist grob und erlaubt schon wegen der Trägheit des Spirographen keine genaue Alveolardruckmessung.

IV. Neuere Messmethoden.

Zur Messung des Atemwiderstandes bedarf man eines Verfahrens, welches eine fortlaufende Registrierung erlaubt, da der Widerstand von der Strömungsgeschwindigkeit, die nicht in allen Atemphasen gleich gross ist, abhängig ist. Ausserdem erfolgen während der Atmung oft schnelle Veränderungen der Bronchialweite in den unteren Luftwegen, die auf den Widerstand Einfluss haben. Man erhält auf diese Weise Werte für jeden Zeitpunkt einer Atemphase und kann daraus einen Mittelwert für

den jeweiligen Gesamtzustand errechnen.

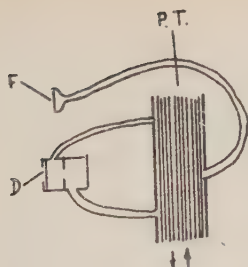
- a) v. Neergard und Wirz (38) gelang es als erste den Atemwiderstand am lebenden Menschen zu bestimmen. Sie registrierten während der Atmung gleichzeitig den Pleuradruck und die Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft, welche einem Pneumotachogramm zu entnehmen war. Aus diesen Werten erhält man den Alveolardruck und daraus als Quotienten von:

$$\frac{\text{Alveolardruck}}{\text{Strömungsgeschwindigkeit}} \quad \text{den Atemwiderstand.}$$

Zur Bestimmung des Alveolardruckes ist eine Pleurapunktion notwendig, wodurch Untersuchungen auf breiter Basis nicht möglich sind. Ausserdem beeinflussen die elastische Lungen-
spannung und gewisse Deformationswiderstände im Lungenge-
webe die Alveolardruckbestimmung.

Daher erfanden die gleichen Autoren eine zweite Methode um den Atemwiderstand auch auf indirektem Wege zu bestimmen. Ihr Prinzip ist folgendes, nämlich den Druckunterschied, welcher zwischen Alveolen, oberen Luftwegen und innerhalb der einzelnen Lungenteile besteht, durch einen augenblicklichen Verschluss der Atemwege zum Ausgleich zu bringen. Das Volumen der Lungenluft ist gegenüber dem Volumen des schädlichen Raumes sehr gross, daher ist nur eine minimale Verschiebung der Luftmengen notwendig um einen Druckausgleich zu erzielen.

Der im Moment der Strömungsunterbrechung gemessene Druck entspricht weitgehend dem Alveolardruck. Zur Registrierung dieses Druckes wird die Atemluft durch einen Pneumotachographen nach F l e i s c h (17) geleitet, der über eine Differentialdruckkapsel die Strömungsgeschwindigkeit anzeigt. Der Druck im Pneumotachographen wird mittels einer Frank'schen Kapsel aufgezeichnet.



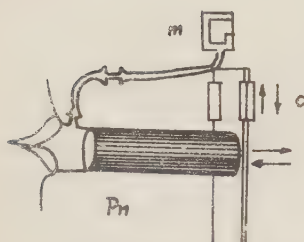
PT = Pneumotachograph
D = Differentialdruck-
kapsel mit Spiegel
F = Frank'sche Kapsel

Abb. 4: Bestimmung des Alveolardruckes und der Strömungsgeschwindigkeit nach v. Neergaard und Wirz (38).

Im Augenblick des Verschlusses steigt die Kurve des Pneumotachogramms bei der Expiration steil an, zeigt auf ihrem Höhepunkt einen flachen Verlauf und fällt bei der Inspiration wieder steil ab. Der an den Knickstellen angezeigte Druck ist der Alveolardruck. Nach Öffnen des Verschlusses zeigt die Pneumotachogrammkurve wieder ihr normales Bild.

Nach dieser Methode, der sog. Verschlussdruckmethode von v. Neergaard und Wirz (38) kann der Atemwiderstand aus der Strömungsgeschwindigkeit unmittelbar vor dem Verschluss und dem sog. "Verschlussdruck" ausgerechnet werden.

- b) Später baute Vuilleumier (59) die Methode der Atemwiderstandsmessung weiter aus und suchte sie zu vereinfachen. Er wies an Hand verschiedener Modellversuche nach, dass tatsächlich bei plötzlichem Verschluss der Atemwege ein Druckausgleich stattfindet. Er ordnete seine Versuche so an, dass die Versuchsperson durch ein Rohr atmet, an welchem sich ein Pneumotachograph mit einer Verschlussvorrichtung befindet.



Pn = Pneumotachographen-
widerstand
m = Frank'sche Kapsel
c = Verschlussvorrichtung

Abb. 5: Atemwiderstandsmessung nach der Methode von
V u i l l e u m i e r (59).

Solange der Verschluss offen ist, wird der Druckabfall am Widerstand des Pneumotachographen, welcher der Strömungsgeschwindigkeit proportional ist, registriert. Bei Verschluss des Pneumotachographen wird durch die Frank'sche Kapsel der Alveolardruck zur Registrierung übertragen. Die Kurve steigt ziemlich steil an, bildet auf der Höhe des Alveolardruckes einen Knick und fällt dann wieder zur Norm ab.

Der Atemwiderstand ergibt sich aus dem Quotienten
Alveolardruck : Strömungsgeschwindigkeit.

Die Nachteile dieser Methode sind:

1. dass die Knickstellen in der Registrierkurve oft un-
deutlich ausgeprägt sind, so dass eine genaue Ablesung
des Alveolardruckes erschwert ist und
2. entstehen durch die, wenn auch relativ kurzfristige, totale
Unterbrechung des Atemstromes im Atemmechanismus gewisse
reflektorische Druck- und Weiteveränderungen.

c) Ein weiteres Modell eines Verschlussdruckgerätes wurde von
O t i s and P r o c t o r (38) beschrieben, welches im
Prinzip dem von V u i l l e u m i e r (59) gleichkommt.

Auch W y s s und S c h m i d (62) verwendeten für ihre
Versuche eine Modifikation von V u i l l e u m i e r (59).

J e k e r (30) machte die Versuche für seine Dissertation zur Bestimmung des Strömungswiderstandes im Bronchialsystem des Menschen sowohl mit der Verschlussdruck- als auch mit der Oesophagusdruckmethode.

- d) Von D i r n a g l (10) wurde ein weiteres Gerät zur Messung der Atemwiderstände entwickelt und beschrieben, welches für die Versuche im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurde. Dieses Gerät ist eine Weiterentwicklung der Methode nach V u i l l e u m i e r (59) zur unblutigen Messung des Atemwiderstandes, die eine höhere Auswertegenauigkeit bei geringerer Störung des normalen Atemverlaufs erlaubt. Das Prinzip beruht darauf, dass zwei verschieden grosse äussere Atemwiderstände in raschem Wechsel dem inneren Atemwiderstand hinzugefügt werden. Aus den Druckänderungen beim Widerstandswechsel lassen sich rechnerisch der Alveolardruck und der Atemwiderstand erfassen. Die bei dieser Methode auftretende Beeinflussung der Atmung ist wesentlich geringer als bei der Verschlussdruckmessung.

Die Beschreibung dieses Messgerätes ist in dem Kapitel "Messmethode nach D i r n a g l (10) und Methodik der statistischen Verarbeitung der Messwerte", Seite 24 zu finden.

IV. Verwandte Methoden.

a) Spirometrie.

Die Spirometrie dient in erster Linie dazu, die Ventilationsgrösse der Lunge durch Volummessungen zu untersuchen. Darüber berichten B r a u e r (6) und W e n g l e r (61).

Hutchinson erfand das Spirometer. Sein Prinzip ist das der beweglichen Glocke im Wasserbad. Man unterscheidet zwei Systeme, nämlich ein offenes Spirometer und ein solches mit geschlossenem Kreislauf. Beim offenen System wird Frischluft oder ein gewünschtes Gasgemisch eingeatmet und die

Ausatmungsluft zur Analyse gesammelt; diese Methode wird gerne zur Bestimmung der Residualluft genommen. Das geschlossene System wurde von K r o g h und K n i p p i n g (32, 33) ausgebaut. Es ist besonders in der Klinik weitverbreitet. Die Versuchsperson atmet in eine Maske von welcher ein Schlauchsystem die ausgeatmete Luft in ein Spirometer zur Registrierung der Volumina, einer Pumpe bzw. Ventilator zur Umwälzung der Luft, einer Absorptionseinrichtung für die Kohlensäure und für die Zufuhr von gereinigter Atemluft sorgt. Das geschlossene System eignet sich deshalb zur Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureabgabe der Lunge.

Die Spiroergometrie (B r a u e r 6) erzielt spiographische Untersuchungen, jedoch wird hierbei der Patient belastet, sog. Arbeitsversuch.

Spirometer dienen auch zur Bestimmung der Vitalkapazität.

b) Atemgrenzwert.

Von H e r m a n n s e n (25) wurde 1933 ein Verfahren zur Bestimmung des maximalen Atemminutenvolumens = Atemgrenzwert eingeführt. Der Atemgrenzwert wird spirometrisch gemessen, indem die Versuchsperson während kurzer Zeit so rasch und so tief als möglich atmet. Er umfasst die dynamische Atemfunktion und liefert bei regelrechter Ausführung objektivere Werte als die Bestimmung der Vitalkapazität (B o e h m e 5; M ü l l e r und B a s t e r t 37). Die Normalwerte liegen ungefähr zwischen 100 - 150 Liter pro Minute, sie sind abhängig vom Willen und dem Trainingszustand der Versuchsperson (R o s s i e r, B ü h l m a n n und W i e s i n g e r 48).

Die Bestimmung des Atemgrenzwertes stellt grosse Anforderungen an den Patienten und kann manchen Kranken nicht zuge-
mutet werden; z. B. sind bei Atemnot oder Silikose die Werte je nach dem Schweregrad der Erkrankung herabgesetzt

(W o r t h u n d S c h i l l e r 62).

c) Expirationsstoss von H a d o r n (22, 23).

Die maximale Ausatemungsstromstärke wird mittels eines von H a d o r n (22, 23) eingeführten Pneumometers gemessen. Unter Expirationsstoss (S c h ö n d u b e 50) versteht man eine maximale Expiration in möglichst kurzer Zeit nach möglichst maximaler Inspiration. Bei der Bestimmung der Vitalkapazität im Spirometer wird die gleiche Luftmenge ausgeatmet wie beim sog. Expirationsstoss, nur ist die für den Vorgang benötigte Zeit verhältnismässig lang. Das Verfahren der Spirometrie ist also auch der Pneumometrie niemals gleichzusetzen. Trotz normalen Spirometerwerten kann der Wert des Expirationsstosses bedeutend herabgesetzt sein (z. B. beim Asthma, Emphysem) oder umgekehrt (Pneumothorax, Pleuraerguss). Die Normalwerte des Expirationsstosses liegen zwischen 5 - 7 Liter pro Sekunde.

Zwischen dem Expirationsstoss und dem Atemwiderstand bestehen gewisse Beziehungen, die aber noch nicht geklärt sind. Zur Verwendung im klinischen Betrieb ist er sehr gut geeignet, wenn auch die Messwerte nicht sehr genau sind.

d) Tieffeneautest.

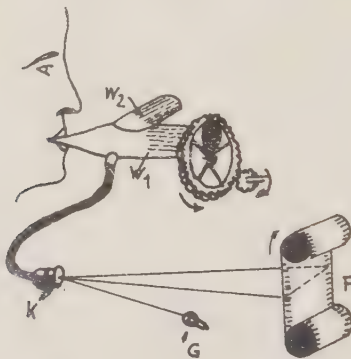
Von Tieffeneau wurde ein Test eingeführt, dem wie bei der Pneumometrie die Messung einer möglichst raschen und starken Expiration zugrunde liegt. Als Gerät dient ein Spirometer, gemessen wird das Luftvolumen, welches in $1/10$ Sekunde der forcierten Expiration ausgeatmet wird; und untersucht wird wieviel Zeit zur Ausatmung der ganzen Vitalkapazität erforderlich ist. Normalerweise sollen $2/3$ der Vitalkapazität in einer Sekunde ausgeatmet werden können. Eine Verminderung der Werte spricht für irgendwelche Widerstände in den Atemwegen (R o s s i e r, B ü h l m a n n und W i e s i n g e r 47; W y s s 64).

D. Messmethode nach Dirnagl und Methodik der statistischen
Verarbeitung der Messwerte.

I. Atemwiderstandsmessung nach der Methode von Dirnagl (10).

Dirnagl (10) gelang es die Nachteile der früheren Methoden der Atemwiderstandsmessungen auszuschalten. Er erreichte es dadurch, dass er an Stelle der kurzfristigen, völligen Absperrung der Atemluft den Widerstand des Pneumotachographen kurzzeitig durch Erhöhung des Widerstandes etwas veränderte. Durch Vermeidung der völligen Unterbrechung des Atemstromes bleibt die Atmung auch während der Widerstandserhöhung praktisch unbeeinflusst. Der Alveolardruck ändert sich wesentlich weniger als bei der Verschlussdruckmethode.

Dieser Pneumotachograph besteht aus zwei Widerständen W_1 und W_2 . Einer von diesen Widerständen wird nun rhythmisch kurzzeitig verschlossen, so dass dadurch eine Erhöhung des Widerstandes erreicht wird.



W_1 und W_2 = Widerstände
nach Art des
Fleisch'schen
Pneumotachographen

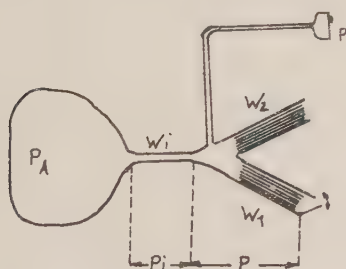
K = Frank'sche Kapsel

G = Glühlampe

F = Film

Abb. 6: Messung des inneren Atemwiderstandes durch vorübergehende Änderung des Pneumotachographenwiderstandes.

Wie Abb. 6 zeigt, atmet die Versuchsperson durch ein Gerät, das nach Art des Fleisch'schen Pneumotachographen (vergleiche Seite 16) gebaut ist, aber an einer Gabelung zwei Widerstände W_1 und W_2 trägt. Einer davon wird durch eine motorbetriebene Sektorenscheibe 3 - 4 mal in jeder Atemphase kurzfristig unterbrochen (Abb. 7).



PA = Alveolardruck
 PI = Druckabfall am inneren Atemwiderstand
 P = Druckabfall am Pneumotachographenwiderstand.

Abb. 7: Übersichtsskizze zur rechnerischen Auswertung.

Wenn nun W_1 offen ist, kann die Luft durch beide Widerstände strömen. Der Gesamtwiderstand beträgt dann:

$$W = \frac{W_1 \times W_2}{W_1 + W_2}$$

Er ist kleiner als jeder der beiden Einzelwiderstände. An das Gerät ist eine Frank'sche Kapsel angeschlossen, welche das Pneumotachogramm registriert. Verschliesst man W_1 , steigt der Gesamtwiderstand auf W_2 an und das Pneumotachogramm zeigt höheren Ausschlag. Der Alveolardruck kann nicht direkt abgelesen werden, sondern er muss aus den Druckwerten vor und nach der Unterbrechung berechnet werden.

Aus folgenden Gleichungen lässt sich der Alveolardruck bestimmen:

$$1. P_{AO} = P_{IO}$$

$$2. P_{AZ} = P_{IZ} + P_Z$$

$$3. \frac{P_{AO}}{P_O} = \frac{W_I + W}{W}$$

$$4. \frac{P_{AZ}}{P_Z} = \frac{W_1 + W_2}{W_2}$$

$$5. P_{AO} = P_{AZ}$$

W_I = Innerer Atemwiderstand

P_A = Druckunterschied zwischen Alveolargebiet und Aussenluft

P_I = Druckabfall am inn. Atemw.

P = Druckabfall am Pneumotachographenwiderstand

O = Verhältnisse bei offenem W_1

Z = Verhältnisse bei geschlossenem W_2

Pneumotachographenwiderstand und innerer Atemwiderstand werden immer von der gleichen Luftmenge durchströmt.

Die Versuchsperson atmet in das Gerät, wie es in Abb. 6 dargestellt ist. Das Pneumotachogramm wird auf Streifenpapier über die Frank'sche Kapsel mit Lichtschreiber registriert. Pneumotachogramme, welche bei der gleichen Person im Liegen, Stehen oder Sitzen aufgenommen werden, zeigen nach *z u J e d d e l o h* (29) fast die gleiche Form.

z u J e d d e l o h (29) spricht sogar von einer persönlichen Form der Atmung, die unter verschiedenen Bedingungen festgehalten wird. Diese Feststellung wurde durch *W e b e r* (60) bestätigt. *B r e t s c h g e r* (7) unterscheidet drei Grundformen des Pneumotachogramms, nämlich Plateau-, Kuppel- und Spitzform, welche bei der gleichen Person inspiratorisch und expiratorisch immer dieselbe Form haben. Allerdings gibt es auch fließende Übergänge. Die Tachogramme von verschiedenen Personen unterscheiden sich ausser durch den Typus auch noch durch die Regelmässigkeit bzw. Unregelmässigkeit des Kurvencharakters (glatt, leicht zackig, grosszackig). Bei den Zacken handelt es sich um Schwankungen der Stromgeschwindigkeit, die durch eine ruckartige Aktion der Atemmuskulatur bedingt sind.

II. Auswertung der Pneumotachogrammkurve.

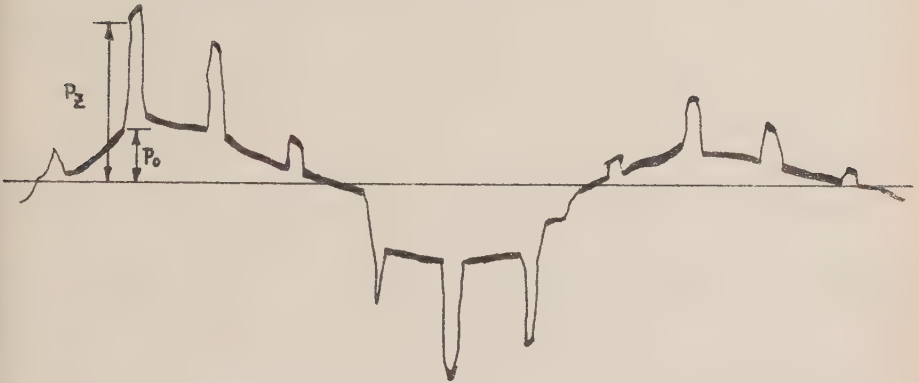


Abb. 8: Auswertung der Pneumotachogrammkurve.

Die Versuchsperson atmet in sitzender Stellung in das Atemwiderstandsgerät. Die Nase wird hierbei mit einer Klemme verschlossen, um den ganzen Atemstrom durch das Messgerät zu leiten. Auf optischem Wege werden die Druckschwankungen am Pneumotachographenwiderstand bei der Ein- und Ausatmung registriert. Zunächst lässt man die Person einige Male durch die Apparatur atmen, um sie daran zu gewöhnen. Bei ungeübten Personen treten, im Bestreben die Sache möglichst gut zu machen, leicht Veränderungen der Atmung auf. Manche Personen sind vielleicht auch aufgeregt, so dass die Anfangskurven von der Norm abweichen. Durch die beschriebenen Vorkehrungen wird die Versuchsperson an das Milieu der Untersuchung gewöhnt.

(W e b e r 60). Sobald der Patient normal atmet, d. h. ruhig und ausgeglichen, ein Vorgang den man an der Bewegung eines Lichtpunktes leicht erkennen kann, wird der Ablauf des Photopapieres eingeschaltet. Zur Berechnung des Atemwiderstandes werden ca. 4 - 6 vollständige Atemzüge aufgeschrieben. Vor und nach der Registrierung wird die Null-Linie aufgezeichnet.

Zur Auswertung der Kurven geht man so vor, dass man zunächst die Null-Linie auszieht und dann die einzelnen Werte von P_Z und den dazugehörigen Werten von P_0 abliest und ihren Quotienten ausrechnet. Die Widerstände W_1 und W_2 - Apparatewiderstände sind bekannt, der Gesamtwiderstand wird einer Eichkurve entnommen.

Das Messgerät zur Bestimmung des Atemwiderstandes nach D i r n a g l (10) wurde in den Dissertationen von R e i n d l (45) und V i l m a r (58) verwendet und hat dort bereits seine klinische Brauchbarkeit erwiesen.

III. Exkurs über statistische Methoden.

Zu untersuchen ist ein Personenkreis, bei welchem über einen längeren Zeitraum hinweg mehrmals am Tage verschiedene Messungen vorgenommen wurden. Zu beantworten ist die Frage: bestehen Unterschiede hinsichtlich bestimmter Aufteilungsmerkmale (in der hier vorliegenden Arbeit z. B. Alter, Geschlecht usw.)?

Teilt man die Personen nach zwei oder mehr Merkmalen in verschiedene Gruppen ein, so braucht man einige statistische Masszahlen, an denen man messen oder vergleichen kann, ob zwischen den Messwerten der Gruppen und damit auch zwischen den Gruppen ein Unterschied besteht. Als statistische Masszahl zur Charakterisierung einer Gruppe verwendet man als Mittelwert das arithmetische Mittel, um welches sich alle Messwerte dieser Gruppe gruppieren.

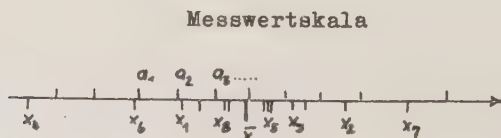


Fig. 1: Häufigkeitsverteilung der Messwerte um den Mittelwert.

Will man sich ein besseres Bild über die Verteilung machen, so fragt man sich, wieviele Messwerte fallen in das Intervall a_1 bis a_2 , wieviele in das von a_2 bis a_3 usw. So gelangt man zu einer "Verteilungskurve", einer Darstellung in rechtwinkligen Koordinaten, deren Abszisse die Skala der Messwerte, deren Ordinate ein Häufigkeitsmasstab ist. Und zwar trägt man über einem Intervall der Abszisse die relative Häufigkeit auf, d. h. die Anzahl von Messwerten die in das gerade betrachtete Intervall fallen, in Prozentsen der Gesamtzahl der Messwerte der Gruppe. Sind die Messwerte symmetrisch um den Mittelwert $\bar{x}$ verteilt, liegt meist eine Normalverteilung oder Gauss'sche Verteilung vor (Fig. 2). Bei der Normalverteilung fällt das arithmetische Mittel mit dem 'häufigsten Wert' zusammen; weiterhin ist sie symmetrisch zum Mittelwert.

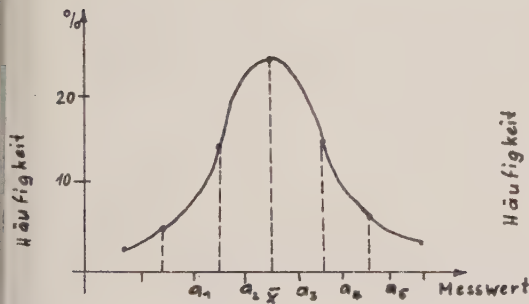


Fig. 2: Normalverteilung
= Gauss'sche Verteilung

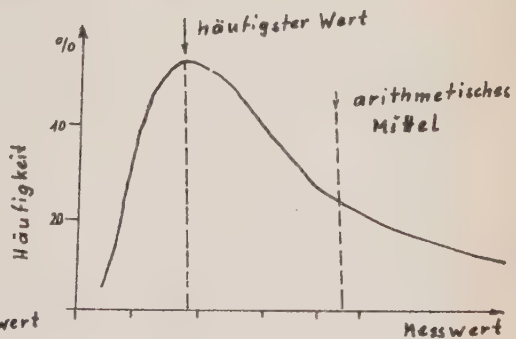


Fig. 3: Poisson'sche Verteilung

Bei nicht symmetrischer Verteilung, wie der Poisson'schen Verteilung fallen häufigster Wert und arithmetisches Mittel nicht zusammen (Fig. 3).

Für die statistische Verarbeitung muss man die Poisson'sche Verteilung in eine Normalverteilung überführen, was dadurch erreicht wird, dass man die Abszissenachse einer Transformation unterwirft, z. B. statt der einfachen Messwerte ihren Logarithmus aufträgt.

In dieser Arbeit liegt eine Poisson'sche Verteilung der Messwerte vor, da der Atemwiderstand nicht Null werden kann, aber auch keine eindeutige obere Grenze hat.

Nun kann eine Verteilungskurve flach verlaufen, wenn die Messwerte weit um den Mittelwert 'streuen', oder schlank sein, wenn alle Messwerte eng um den Mittelwert liegen (grosse Streuung - kleine Streuung). Diese Tatsache muss durch eine Masszahl ausgedrückt werden.

Es lässt sich nachweisen, dass den Anforderungen des statistischen Vergleichs am besten ein Streuungsmass gerecht wird, das man als Summe der quadratischen Differenz zwischen Einzel- und Mittelwert erhält.

$$1. \quad (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 \dots + (x_n - \bar{x})^2 = \sum_{v=1}^n (x_v - \bar{x})^2$$

= Minimum

$\bar{x}$ bedeutet dabei das arithmetische Mittel

$$2. \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v$$

Schreibt man das nach der Formel 1. definierte Streuungsmass

$$3. \quad \frac{1}{n} \cdot \sum_{v=1}^n (x_v - \bar{x})^2 = s^2 \text{ oder } \sigma^2$$

und nennt s bzw. Streuung bzw. mittleren Fehler.

$$4. \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_v - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Der gewonnene Mittelwert stellt stets nur den Mittelwert einer Stichprobe aus der Gesamtheit der Messwerte von allen Perso-

nen dieser Gruppe dar. Die Verteilung aller Messwerte einer Gruppe nennen wir eine G r u n d g e s a m t h e i t. Die Stichprobe ist also eine Auswahl aus der Grundgesamtheit. Würde man mehrere gleich grosse Gruppen aus der Grundgesamtheit herauslösen, für jede den Mittelwert $\bar{x}$ und die Streuung s berechnen, so wären die Mittelwerte der einzelnen Gruppen oder Stichproben normal um den Mittelwert verteilt; ebenso die Streuungen s der Stichproben um die Streuung der Grundgesamtheit.

Nachstehende Zeichnungen (Fig. 4, 5, 6) sollen die Möglichkeiten der Verteilungen veranschaulichen.

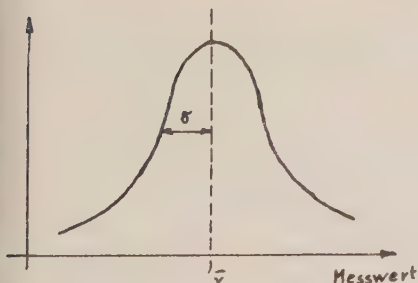


Fig. 4: Verteilung der Grundgesamtheit.

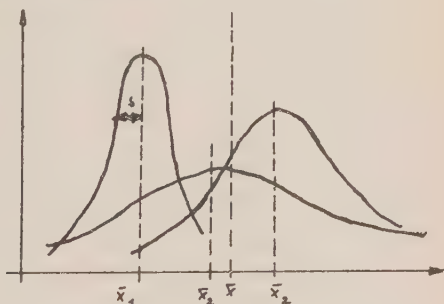


Fig. 5: Mögliche Verteilungen von verschiedenen, gleich grossen Stichproben aus der Grundgesamtheit.

$$\text{d. h. } \mu_{\bar{x}} = \mu \quad ; \quad \sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{N}$$

Ist die Streuung der Grundgesamtheit nicht bekannt, so wird sie durch die Streuung s^2 der Stichprobe ersetzt, denn für N (Anzahl der Messungen) ist die Häufigkeitsverteilung von s normal mit einer Streuung $\sigma_s^2 = \frac{\sigma^2}{2N}$

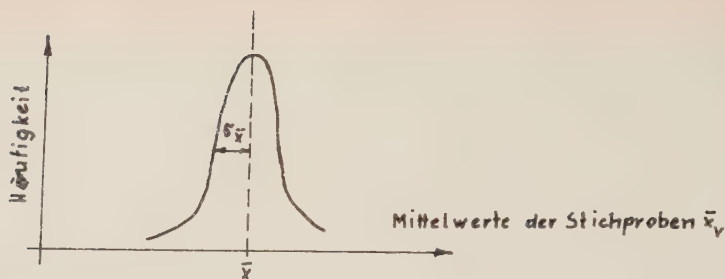


Fig. 6: Verteilung der Mittelwerte der einzelnen Stichproben.
(Maximum beim Mittelwert $\bar{x}$ der Grundgesamtheit).

Dabei ist zu bemerken, dass die Streuung der Mittelwerte der Stichproben um den Mittelwert der Grundgesamtheit kleiner ist, als die Streuung der Messwerte einer Stichprobe um deren Mittelwert.

Zwischen der Abszissenachse und der Verteilungskurve der Grundgesamtheit ist eine Fläche bestimmter Grösse eingeschlossen.

Jetzt wählt man, rechts und links vom Mittelwert der Grundgesamtheit gleich weit entfernt, zwei Werte T' und T'' so, dass rechts vom rechten Wert T' und links vom linken Wert T'' nur der 0,01-te Teil der oben erwähnten Gesamtfläche liegt.

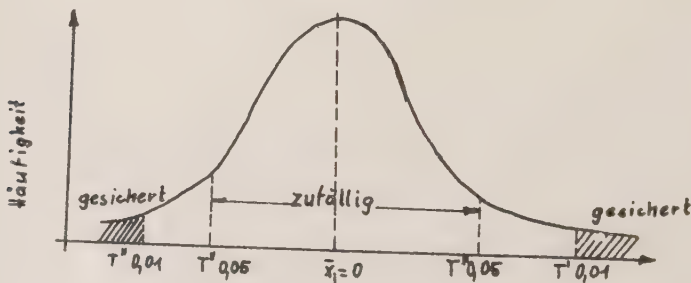


Fig. 7: Sicherheitsgrenzen.

Statt des Mittelwertes der Grundgesamtheit wollen wir nun fortan $\mu = \Theta$ = Masszahl der Grundgesamtheit sagen und statt des Mittelwertes $\bar{x}$ einer Stichprobe $\bar{x} = T$ = Masszahl der Stichprobe. Dann wird man ein v-te Stichprobe mit ihrem Mittelwert $\bar{x}_v$ oder der Masszahl T nur dann noch als zur Grundgesamtheit gehörig betrachten (s. Fig. 7), wenn T einen Abszissenwert hat, der zwischen $T' 0,05$ und $T' 0,05$ liegt, d. h. dass T in einem Abszissenintervall liegt über dem mindestens $1/20$ der von der Verteilungskurve und der Abszissenachse begrenzten Fläche ist. Fällt T in das offene Intervall $< T' 0,01$ oder $> T' 0,01$, so wird man sagen, dass ein gesicherter Unterschied zwischen der Masszahl der Grundgesamtheit Θ und der Masszahl der Stichprobe T besteht, dass also die betrachtete Stichprobe nicht mehr zu dieser Grundgesamtheit gehört, sondern zu einer anderen, wesentlich von dieser verschiedenen Grundgesamtheit.

oder anders ausgedrückt:

rechts von $T' 0,05$ oder links von $T' 0,05$ weisen 5 % aller Stichproben grosse Unterschiede zwischen T und Θ auf, rechts von $T' 0,01$ oder links von $T' 0,01$ weisen 1 % aller Stichproben grosse Unterschiede zwischen T und Θ auf usw.

oder anders ausgedrückt:

Ist $T' 0,05 < T < T' 0,05$, so ist der Unterschied $|T - \Theta|$ zufällig, d. h. aus dem vorliegenden Material ist eine systematische Differenz nicht zu erkennen; ist $T > T' 0,01$ oder $T < T' 0,01$, so ist der Unterschied der Masszahlen (Mittelwerte) $(T - \Theta)$ wesentlich (mit der Möglichkeit, dass unter 100 Stichproben eine rein zufällige Abweichung fälschlich als wesentlich beurteilt wird).

Entsprechendes gilt für $T > T' 0,01$ und $T < T' 0,01$, dann besteht die Möglichkeit der fälschlichen Beurteilung für eine Stichprobe unter 1 000.

Um den Zusammenhang zwischen der Streuung und dem eben Gesagten noch deutlicher zu machen, transformieren wir die Abszissenachse auf die Standardform der Normalverteilung

mit $\mu = \theta = 0$ und wählen σ als Abszisseneinheit.

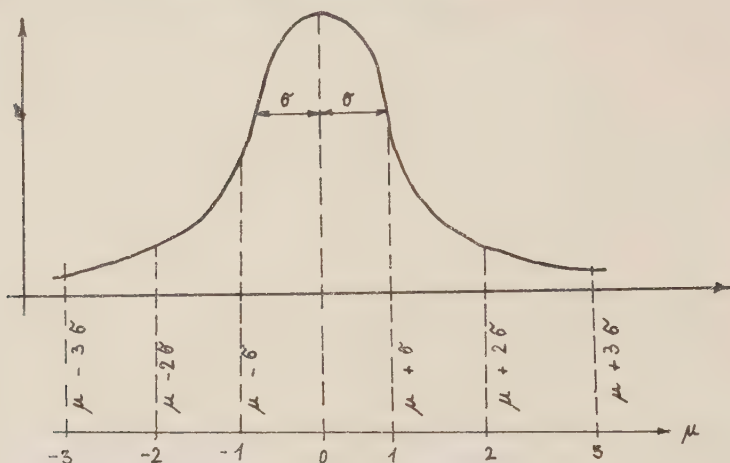


Fig. 8: Standardform der Normalverteilung.

Dann liegen bei Gültigkeit der Gauss'schen Verteilung innerhalb der Grenzen:

$$\pm \frac{\sigma}{2} \dots\dots\dots 38\%$$

$$\pm \sigma \dots\dots\dots 68\%$$

$$\pm 2\sigma \dots\dots\dots 95\%$$

$$\pm 3\sigma \dots\dots\dots 99,1\%$$

aller Einzelresultate.

Man wird demnach den Unterschied zweier Stichproben als gesichert anzusehen haben, wenn

$$\mu = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_d} ; \quad (\sigma_d^2 = \frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2})$$

die 2σ - oder 3σ - Grenze überschreitet. Dann gehören die beiden Stichproben zwei verschiedenen Grundgesamtheiten an.

Die Streuungszerlegung entscheidet nur, ob unter mehreren

Gruppen sich mindestens zwei wesentlich unterscheiden. Für die genaue Prüfung der Unterscheidung je zweier Gruppenpaare, muss man wieder auf die vorgenannte Methode zurückgreifen.

Ausserdem lässt die mehrfache Streuungszerlegung auch noch entscheiden, ob zwischen Gruppierungen nach übergeordneten Gesichtspunkten Wechselwirkungen bestehen.

Eine Diskussion der hier durchgeführten statistischen Beziehungen war notwendig, um die Methode der Auswertung kennenzulernen und die Wichtigkeit der erzielten Ergebnisse zu demonstrieren. Gleichzeitig soll auch eine Auseinandersetzung mit der mathematischen Fachliteratur erspart werden.

Als einschlägige Fachliteratur seien genannt:

A. L i n d e r: Statistische Methoden, (34)

B. B a u l e: Die Mathematik der Nat. Forschers und Ingenieurs (3).

F. Aufgaben der Reihenuntersuchung.

Für die Auswertung wurden Messungen des inspiratorischen und expiratorischen Atemwiderstandes von 21 Personen, durchgeführt über fünf Wochen, zur Verfügung gestellt.

Aus diesem Material sollten folgende Fragen beantwortet werden:

1. Welchen Atemwiderstand kann man als allgemeinen normalen Mittelwert betrachten?
2. Besteht ein Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen?
3. Besteht ein Unterschied zwischen inspiratorischem und expiratorischem Atemwiderstand?
4. In welchen Grenzen kann der Atemwiderstand bei einer bestimmten Person unter normalen Verhältnissen schwanken?
5. Hat das Rauchen einen Einfluss auf den Atemwiderstand?
6. Ist der Atemwiderstand vom Alter abhängig?
7. Besteht ein Tages- oder Wochenrhythmus?
8. Schliesslich ist zu klären, ob der Atemwiderstand von meteorologischen Faktoren abhängen kann.
Insbesondere war dabei gedacht an:
 - a) Lufttemperatur im Zimmer und draussen
 - b) Luftfeuchtigkeit (im Zimmer und draussen)
 - c) Luftdruck
 - d) Frontendurchgänge, Gewitter
 - e) Ultralangwellenstörungen und luftelektrische Schwankungen.

F. Der untersuchte Personenkreis.

Für die Versuche über "Normalwerte der Atemwiderstandsmessungen und deren Schwankungsbreite" wurden am Institut für Physikalische Therapie in München 21 Personen verschiedenen Alters untersucht. Die Messwerte wurden viermal täglich um 8, 11, 14 und 17 Uhr, insgesamt an 21 Tagen aufgeschrieben. Samstags und sonntags fanden keine Messungen statt.

Pro Person konnten an 21 Tagen 188 Messwerte gewonnen werden. Einige Versuchspersonen mussten wegen zu grosser Lückenhaftigkeit ihrer Messreihe ausgeschieden werden.

Es verblieben somit für die Altersklassen nachstehende Personen (Tabelle I).

Alter	männlich	weiblich	gesamt	ausgeschieden
unter 20	0	2	2	1
20 - 30	3	2	5	0
30 - 40	1	2	3	1
40 - 50	1	2	3	2
über 50	2	2	4	0
				4 Personen.

Tab. I: Der untersuchte Personenkreis.

Aus allen Versuchen konnten 2 458 Messwerte statistisch verwendet und verarbeitet werden. Einzelne fehlende Werte wurden linear interpoliert. Aus diesem Wertevorrat wurde dann zunächst der Mittelwert für jede Person errechnet. Dieser persönliche Mittelwert wurde zur Vervollständigung der Messreihen in Lücken von zwei bis vier Messwerten eingesetzt.

Auf diese Weise konnten die Reihen für 13 Personen vollständig geschlossen werden. Bei vier Personen konnten die Messwerte auf mindestens zwei zusammenhängende Bereiche mit zusammen je 17 Tagen = 136 Messwerte ergänzt werden.

Der Atemwiderstand wurde mit der von D i r n a g l (10) angegebenen Apparatur gemessen.

Der Patient atmet in sitzender Stellung in ein Mundstück, welches mit der Apparatur verbunden ist. Die Nase wird mittels einer Klemme verschlossen. Zuerst wird der Patient durch einige nicht registrierte Atemzüge mit der Apparatur vertraut gemacht. Wenn ruhige und ausgeglichene Atmung eintritt, was man an der Bewegung eines Lichtpunktes leicht erkennen kann, schaltet man den Ablauf des Photopapieres ein und lässt ungefähr fünf vollständige Atemzüge aufzeichnen. Man erhält etwa zehn auswertbare Zacken im expiratorischen und zehn Zacken im inspiratorischen Teil der Kurve. Vor und nach der Aufnahme wird die Null-Linie geschrieben, welche dann bei der Auswertung mit einer sehr dünnen Bleistiftlinie durchgezogen wird. Die beiden zur Auswertung benötigten Werte werden von den erhaltenen Pneumotachogrammkurven durch einen Zirkel abgegriffen, ihr Quotient mittels eines Rechenschiebers ausgerechnet und der Wert des Atemwiderstandes einer zur Apparatur gehörigen Eichkurve entnommen. Um eine möglichst grosse Genauigkeit zu erzielen, wird der Mittelwert aus ca. fünf Einzelwerten ermittelt.

Der Atemwiderstand wird ausgedrückt in:

Alveolardruck mm H₂O

Strömungsgeschwindigkeit l/min.

Die Ergebniswerte, also die Abhängigkeit des Gesamtwiderstandes vom Pneumotachographenwiderstand, wurden aus der zur Apparatur gehörigen Eichkurve entnommen.

Die Vorteile dieser Methode liegen klar auf der Hand:

1. Diese Messung behindert den Patienten in keiner Weise; sie strengt ihn auch nicht an, da er nur ruhig und ausgeglichen zu atmen braucht.
2. Durch die Vermeidung der völligen Unterbrechung des Luftstromes während der Atmung treten keine störenden Reflexe und ev. Deformationswiderstände in Erscheinung.

Um Fehlerquellen durch die Trägheit der Apparatur auszuschalten, werden die Kurven photographisch registriert.

Abb. 9 zeigt die Messwerte auf, welche viermal täglich, sowohl für die Inspiration als auch für die Expiration aufgeschrieben wurden. Als Beispiel sind die registrierten Werte einer männlichen Person zwischen 20 - 30 Jahren und einer männlichen Versuchsperson über 50 Jahren einander gegenübergestellt. Der Einfachheit halber wurden die einzelnen Messwerte nacheinander aufgezeichnet, ohne Rücksicht darauf, dass samstags und sonntags keine Messungen vorgenommen wurden.

In der gleichen Weise wurde mit allen anderen Personen verfahren. Aus diesen einzelnen Messwerten wurde die statistische Berechnung angestellt.

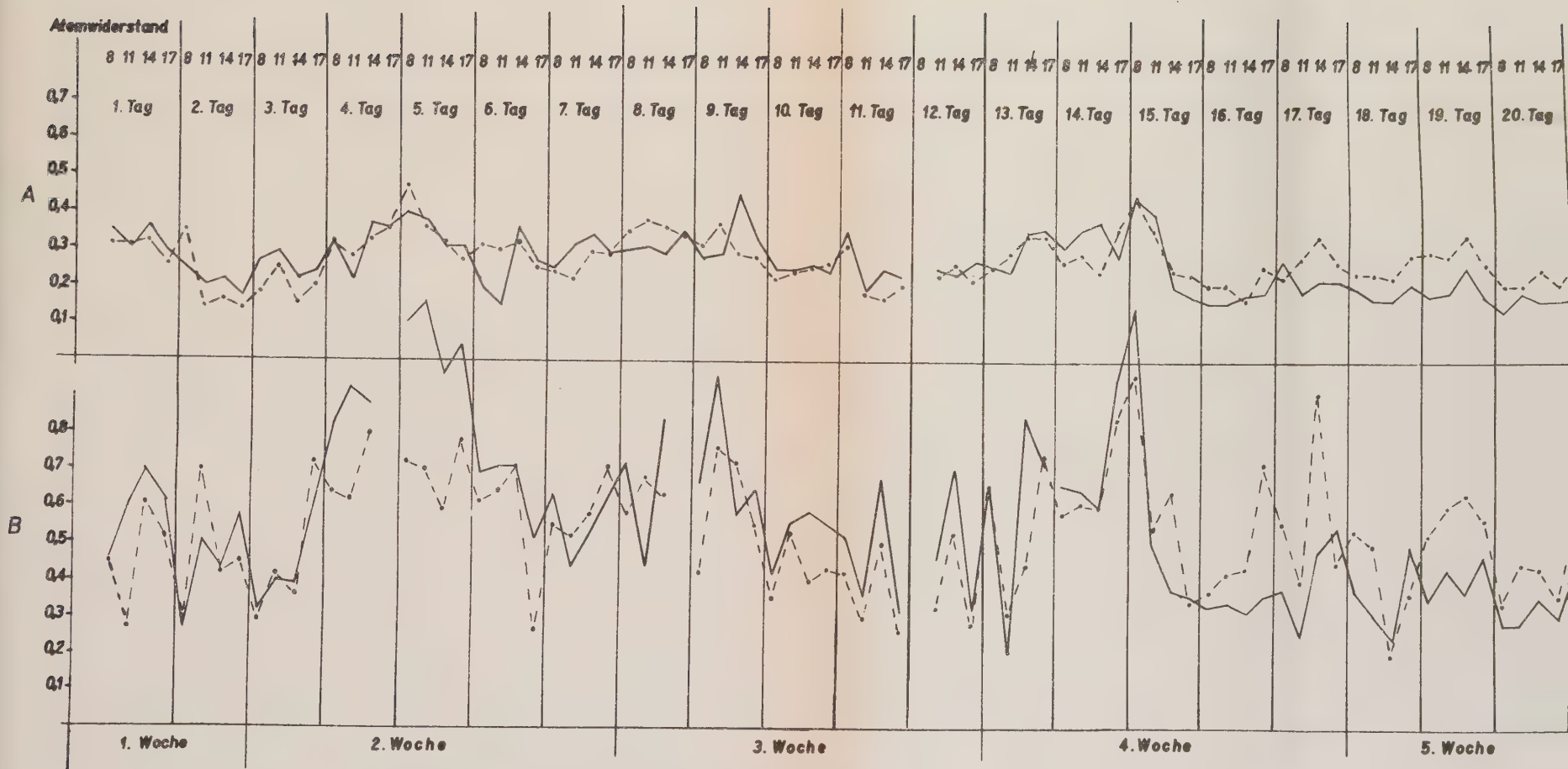


Abb. 9 Gesamtverlauf der Atemwiderstandsmessungen.

(A = ♂ von 20-30; B = ♂ über 50 Jahren)

G. Ergebnisse der Atemwiderstandsmessungen und der statistischen

Berechnung.

1. Angabe eines allgemeinen Mittelwertes.

Für die statistische Berechnung wurden 2 458 Messwerte verwendet. Es ergab sich ein allgemeiner Mittelwert für alle Personen zu:

$$0,3301 \frac{\text{mm H}_2\text{O}}{\text{l/min}} ,$$

mit einer mittleren Schwankungsbreite um diesen allgemeinen Mittelwert von 0,137. (Mittelwert = Mittel aus allen expiratorischen und inspiratorischen Messungen).

Für alle Personen beträgt der Atemwiderstand also:

$$0,3301 \pm 0,137 \frac{\text{mm H}_2\text{O}}{\text{l/min}}$$

Die Mittelwerte der Versuchspersonen zeigt nachstehende Tabelle II. Es sind die Mittelwerte der gemessenen Atemwiderstände eingetragen, geordnet nach den Gesichtspunkten Geschlecht, Alter, Inspiration und Expiration.

Aus diesen Zahlen ist schon zu ersehen, dass der expiratorische Atemwiderstand im allgemeinen grösser als der inspiratorische ist. Ausserdem ist der Atemwiderstand sowohl bei der Inspiration als auch bei der Expiration bei älteren Menschen grösser als bei jüngeren.

Tabelle II

Alters- gruppe	Geschlecht	Alter	Mittelwert der gemessenen Atemwiderstände	
			Insp.	Exsp.
unter 20	w	19	0,323	0,351
	w	19	0,368	0,374
20 - 30	w	27	0,261	0,281
	w	22	0,288	0,288
	m	30	0,274	0,277
	m	26	0,276	0,313
	m	29	0,278	0,268
30 - 40	w	36	0,451	0,467
	w	38	0,239	0,265
	m	31	0,250	0,262
40 - 50	w	46	0,329	0,311
	w	48	0,336	0,375
	m	47	0,291	0,269
über 50	w	53	0,296	0,319
	w	54	0,313	0,382
	m	51	0,383	0,368
	m	51	0,541	0,569

Tab. II: Die Mittelwerte der Personen.

2. Verteilung der Messwerte.

Voraussetzung für weitere statistische Untersuchungen ist natürlich, dass sich die Personen wesentlich voneinander unterscheiden. Die eine Voraussetzung, dass sie verschiedenen Altersgruppen und Geschlechtern angehören ist erfüllt.

Mit Hilfe der Streuungszerlegung kann man feststellen, ob die einzelnen Versuchspersonen untereinander wesentliche Unterschiede aufweisen. Massgebend ist der Quotient aus der Streuung innerhalb der Gruppen und der Streuung zwischen den Gruppen. Nach den Ergebnissen der statistischen Berechnung, mit $F_{0,01} \approx 2,0$, ist dieser Unterschied inspiratorisch und expiratorisch für alle Personen sehr gut gesichert.

Für die im folgenden immer wieder angewandte Methode der Streuungszerlegung ist die Voraussetzung, dass die Messwerte nach der Normalverteilung verteilt sind (siehe Seite 29). Das dürfte bei dieser Versuchsreihe nicht der Fall sein, denn der Atemwiderstand kann ja den Wert Null nie annehmen. Es liegt also keine Normalverteilung der Messwerte vor, sondern vielmehr wahrscheinlich eine Poisson'sche Verteilung. Durch eine logarithmische Transformation erreicht man, dass die Poisson'sche Verteilung in eine Normalverteilung übergeführt wird.

Summiert man jeweils die prozentuale Häufigkeit der Messwerte, vom Messwert 0 bis zum Messwert x und trägt diese als Ordinate zu dem Abszissenwert x ein, so sollte sich in dem Diagramm eine gerade Linie ergeben. In Fig. 9 ist dieses Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt.

Die Ordinaten-skala ist dabei nach der Gauss'schen Wahrscheinlichkeitskurve geteilt, die Abszisse linear oder logarithmisch. In unserem Falle sehen wir, dass die Annäherung an eine gerade Linie bei logarithmisch geteilter Abszisse grösser ist als bei linear geteilter.

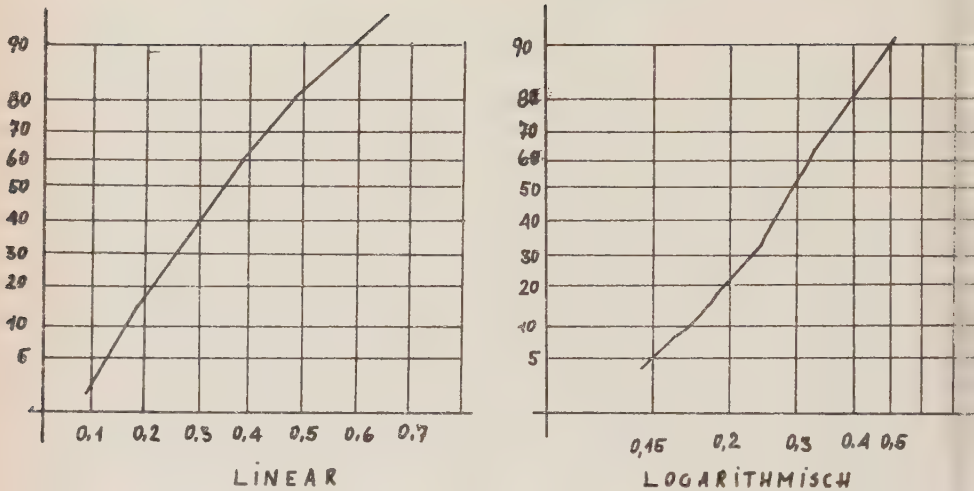


Fig. 9: Wahrscheinlichkeitsnetz.

Aus diesen Gründen ist in Zukunft bei der Verarbeitung der Messwerte durch die Streuungszerlegung nicht der einfache Messwert, sondern sein Logarithmus zu verwerten.

Die Häufigkeitsverteilung der Messwerte ist in Abb. 10 wiedergegeben. Der Atemwiderstand ist nach den verschiedenen Altersklassen auf der Abszisse logarithmisch aufgetragen. Die Ordinate zeigt die prozentuale Häufigkeit der Messwerte. Der allgemeine Mittelwert = aus allen inspiratorischen und expiratorischen Messungen, ist durch einen Pfeil angedeutet.

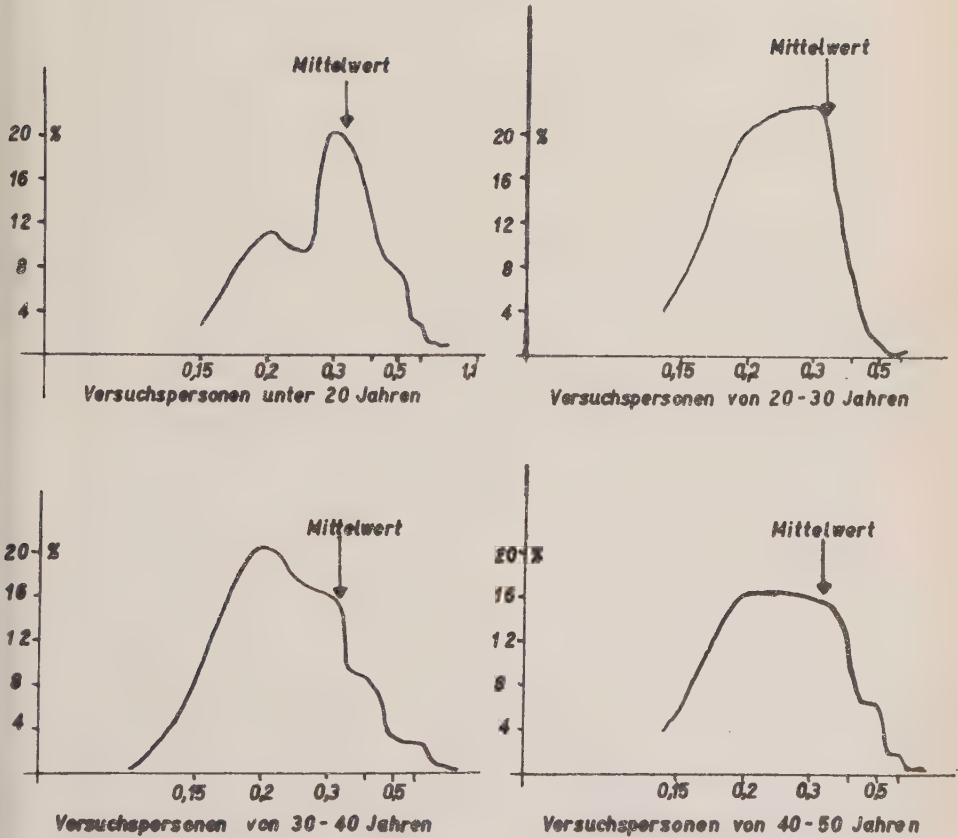


Abb.10 Häufigkeitsverteilung der Messwerte nach Altersklassen.

(die Werte auf der Abszisse sind logarithmisch aufgetragen)

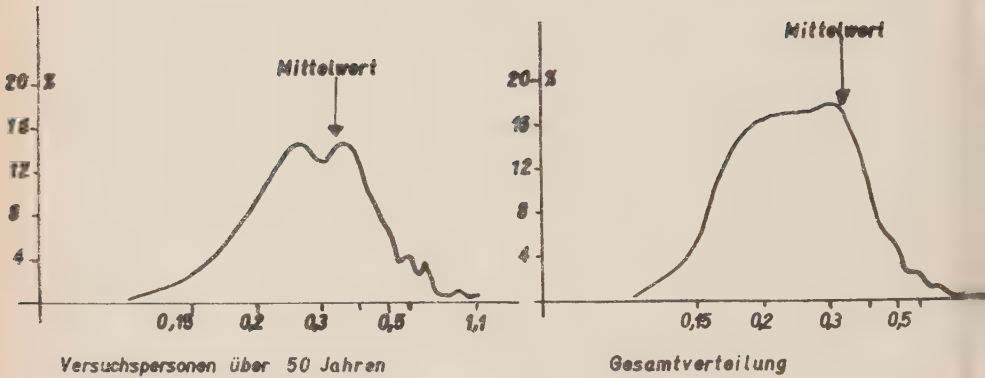


Abb.10 Häufigkeitsverteilung der Messwerte nach Altersklassen.

(die Werte auf der Abszisse sind logarithmisch aufgetragen)

3. Untersuchungen ob ein Unterschied besteht zwischen:

a) männlichen und weiblichen Versuchspersonen.

Mit den weiter vorne aufgezeigten Untersuchungsmethoden wurde geprüft, ob für unseren Personenkreis ein wesentlicher Unterschied zwischen den Geschlechtern besteht. Der Quotient aus der Streuung innerhalb der Gruppen zur Streuung zwischen den Gruppen lautet $F_{0,01} \approx 2$. Damit liegt das Maximum der einen Verteilung innerhalb der $1/26$ -Grenze der anderen Verteilung. Ein Unterschied ist also nicht gegeben, da hier nur 0,9 erreicht wird. Vergleiche auch Abb. 15 und 16.

b) Inspiration und Expiration.

Bei den Atemwiderstandsmessungen wurden im Durchschnitt für die Expiration höhere Werte gemessen als für die Inspiration. Dieses Verhalten der Atemwiderstände ist aus den Zahlen von Tabelle II deutlich zu erkennen.

Im Mittel liegen die expiratorischen Werte um 5 - 6 % höher. Dieser Unterschied ist statistisch gesichert.

Auffallend war jedoch bei unserer Versuchsreihe, dass in den letzten vier Tagen der inspiratorische Atemwiderstand im Mittel grösser war als der expiratorische. Vergleiche Abb. 16. Die Ursache hierfür dürfte in einer Wettereinwirkung zu suchen sein.

Dieses gegensinnige Verhalten lässt sich an Hand der wenigen Versuchspersonen und der relativ wenigen Messwerte nicht genau entscheiden. Zu erwähnen bleibt, dass sich in diesem fraglichen Zeitraum die Werte von Luftdruck und Temperatur gleichsinnig änderten, während sie sich vorher gegensinnig verhielten.

c) Rauchern und Nichtraucher.

Unabhängig von Alter und Geschlecht wurden die Versuchspersonen in fünf Gruppen, je nach der Menge des Nikotinverbrauches eingeteilt und zwar:

Gruppe	Zahl der Personen	durchschnittl. Alter
1. Nichtraucher	8	37
2. Gelegenheitsraucher	2	52
3. schwache Raucher	2	31
4. mässige Raucher	1	23
5. starke Raucher	4	36

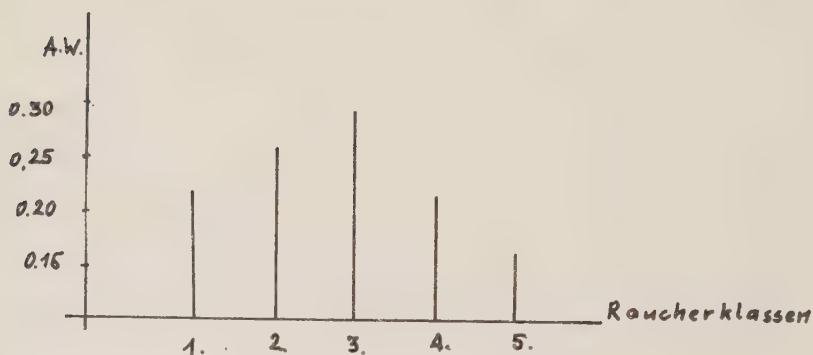


Abb. 11: Atemwiderstand und Nikotingenuss.

Vergleicht man nun den Atemwiderstand mit der Menge des Nikotingenusses, so fällt auf, dass die schwachen Raucher den grössten Atemwiderstand, während die starken Raucher den kleinsten und die Nichtraucher einen mittleren Wert zeigen. Ob diese statistisch gewonnenen Werte wirklich reell sind, lässt sich mit diesem geringen Material nicht

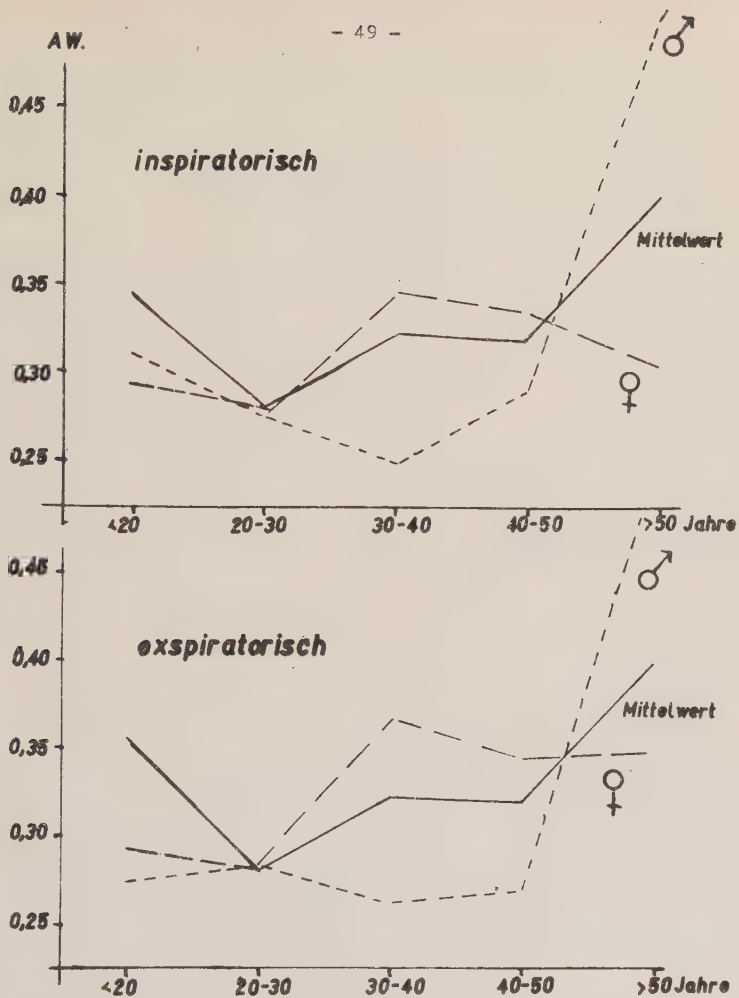


Abb.12 Abhängigkeit des Atemwiderstandes vom Alter.

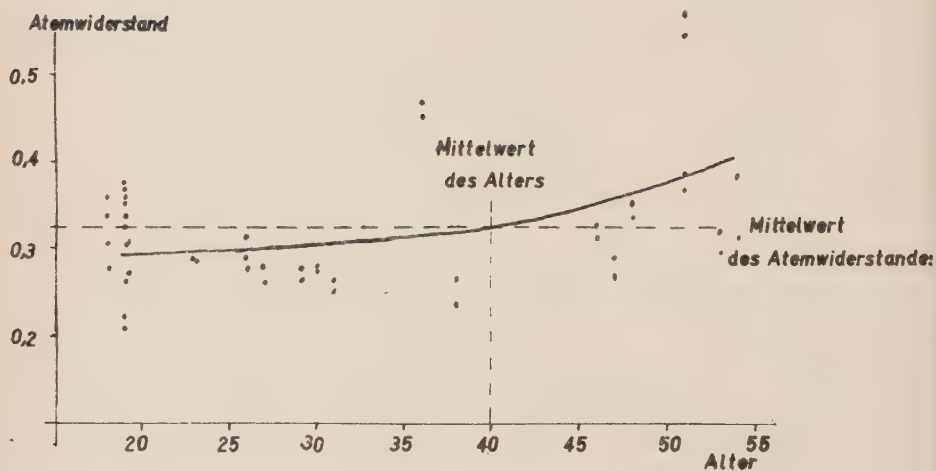


Abb.13 Abhängigkeit des Atemwiderstandes vom Alter.

(die Regressionslinie ist aus allen exp. und insp. Werten gewonnen)

entscheiden. Es wäre zweifellos interessant hier weiter nachzuforschen.

4. Abhängigkeit des Atemwiderstandes von:

a) Alter.

Nach den statistischen Prüfmethoden ist der Unterschied zwischen den Altersklassen mit einem Wert von $F = 79$ sehr gut gesichert. Um die Sicherung 1 : 1 000 zu gewährleisten bräuchte nur $F = 0,9$ zu sein.

In Abb. 12 ist das Verhalten des inspiratorischen und expiratorischen Atemwiderstandes in Bezug auf das Alter veranschaulicht. Die Messwerte der zwei ausgewählten Personen in der Altersklasse unter 20 Jahren unserer Versuchsreihe lagen relativ hoch. Deshalb wurden in Nachversuchen andere Personen unter 20 Jahren nochmals überprüft und hierbei keine Abweichung von unserer Feststellung über das Verhalten des Atemwiderstandes bei den Altersklassen gefunden. Sie liessen sich in den in Abb. 14 dargestellten Gang gut einordnen. Die beiden ersten Versuchspersonen haben also einen anormal hohen Atemwiderstand.

In Abb. 13 ist die Abhängigkeit des Atemwiderstandes vom Alter durch eine Regressionslinie aufgezeichnet. Sie ist aus allen expiratorischen und inspiratorischen Werten gewonnen.

Schon physiologisch nimmt mit zunehmendem Alter die Elastizität von Lunge und Thorax ab (v. H a y e k 24), auch das Emphysem nimmt mit dem Alter zu. Vom Emphysem und der chronischen Bronchitis ist bekannt, dass mit Zunahme der Erkrankung der Luftstrom im Bronchialsystem wegen der zunehmenden Starre einen grösseren Widerstand überwinden muss. Entsprechende altersphysiologische

Vorgänge sind deshalb auch ohne Emphysem zu erwarten.

b) Tagesrhythmus.

Die Messungen des Atemwiderstandes wurden jeweils um 8,00; 11,00; 14,00 und 16,00 Uhr registriert.

Statistisch lässt sich kein Unterschied zwischen den vier tageszeitlichen Messwerten feststellen. Nach den Ergebnissen der Streuungszerlegung kann man vermuten, dass für die Einzelperson ein Tagesrhythmus vorhanden ist, der sich aber bei verschiedenen Personen unter Umständen gegenläufig verhält.

Der mittlere Tagesgang ist aus Abb. 14 ersichtlich. Es lässt sich daraus erkennen, dass bei der Inspiration der Höchstwert für die Männer um 8 Uhr erreicht wird. Dann fallen die Werte bis 14 Uhr ab und steigen wieder langsam an. Die Kurve der weiblichen Personen nimmt von 8 bis 11 Uhr zu und zeigt dann fallende Tendenz bis ca. zum Ausgangswert. Die Kurve des inspiratorischen Mittelwertes verhält sich wie die weibliche, nur ist sie parallel nach oben verschoben.

Bei der Expiration steigen die männlichen und die weiblichen Atemwiderstandswerte von 8 bis 14 Uhr an und fallen dann bis fast auf den Ausgangswert ab. Der Mittelwert nimmt von 8 bis 11 Uhr zu und sinkt bis 17 Uhr ab. Beide expiratorischen Werte liegen über dem Mittelwert aller expiratorischen Messungen.

Für künftige Atemwiderstandsmessungen möchte ich in Vorschlag bringen, auch nachts Messwerte zu registrieren, um einen besseren Überblick über die tageszeitlichen Schwankungen des Atemwiderstandes zu bekommen.

Im Folgenden, wie Abb. 15 zeigt, wurde jede Person auf ihren Tagesgang hin untersucht. Wie vorhin schon erwähnt, konnte eine Abhängigkeit der Messwerte von der Tages-

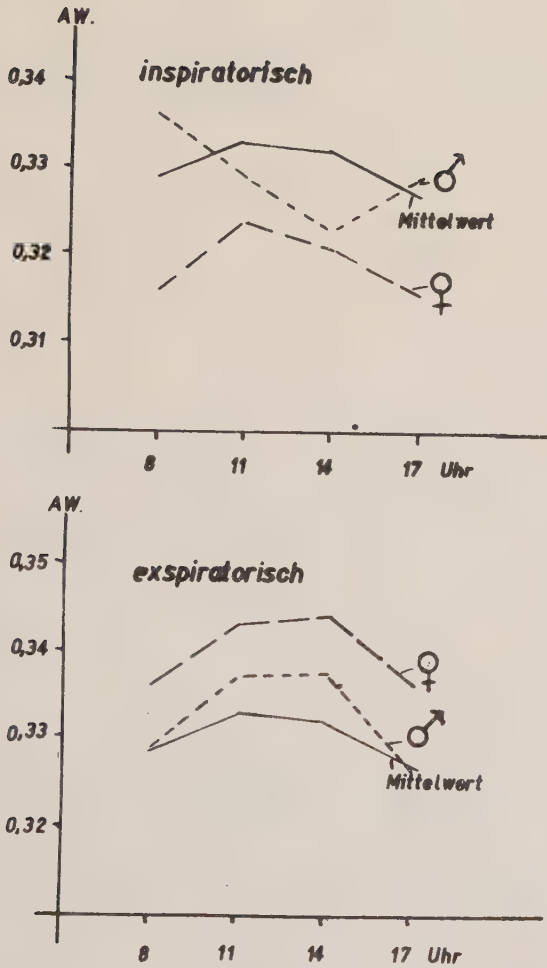


Abb.14 Mittelwerte des Tagesganges.

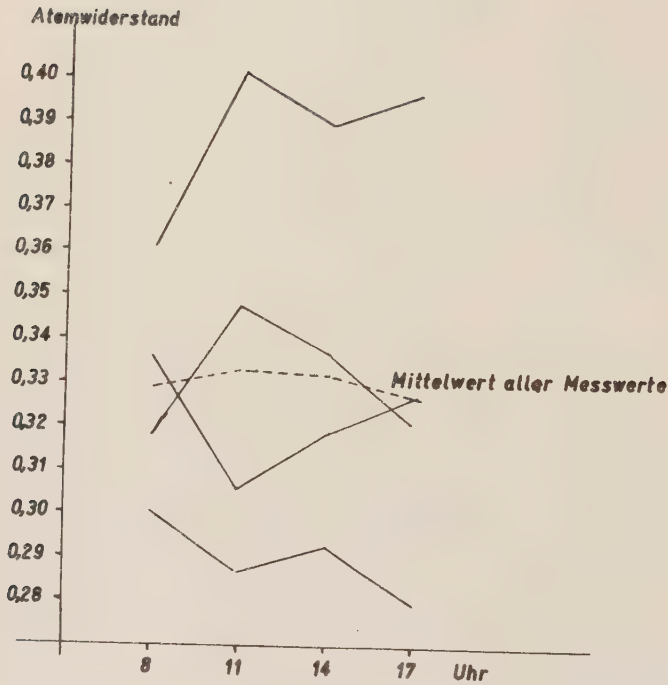


Abb.15 Mittelwerte des Tagesganges

des nach 4 Charakteristiken aufgeteilten Personenkreises.

zeit statistisch nicht gesichert werden. Ein Unterschied im mittleren Tagesgang für alle Personen besteht nicht. Jede Einzelperson zeigt aber einen für sie charakteristischen Tagesgang, den sie während der ganzen Versuchsdauer beibehält.

Auf Grund dieser Beobachtungen kann man den Tagesgang in vier Klassen einteilen:

1. = mittags Maximum

2. = mittags Minimum

3. = stetig steigend

4. = stetig fallend



Neun Personen zeigen Gleichläufigkeit, d. h. der Tagesgang ihrer expiratorischen und inspiratorischen Werte gehören der gleichen Klasse an. Davon haben fünf mittags Maximum, eine mittags Minimum, eine stetig steigende und zwei stetig fallende Charakteristiken.

Bei zwei Personen konnte eine Gegenläufigkeit festgestellt werden. Davon gehörte bei der einen Person die Inspiration der stetig fallenden und die Expiration der stetig steigenden Charakteristik an, bei der anderen ergab sich inspiratorisch mittags das Minimum und expiratorisch mittags das Maximum.

Ein unregelmässiges Verhalten war bei sechs Personen festzustellen.

Die beiden Mittagsmessungen wurden zusammengefasst, so dass die Charakteristiken nur aus drei Terminen bestanden. Nun ergab sich, dass zwischen morgens und abends sehr wohl gesicherte Unterschiede für jede einzelne Charakteristik bestehen.

Alle Altersgruppen kommen in jeder Charakteristik vor,

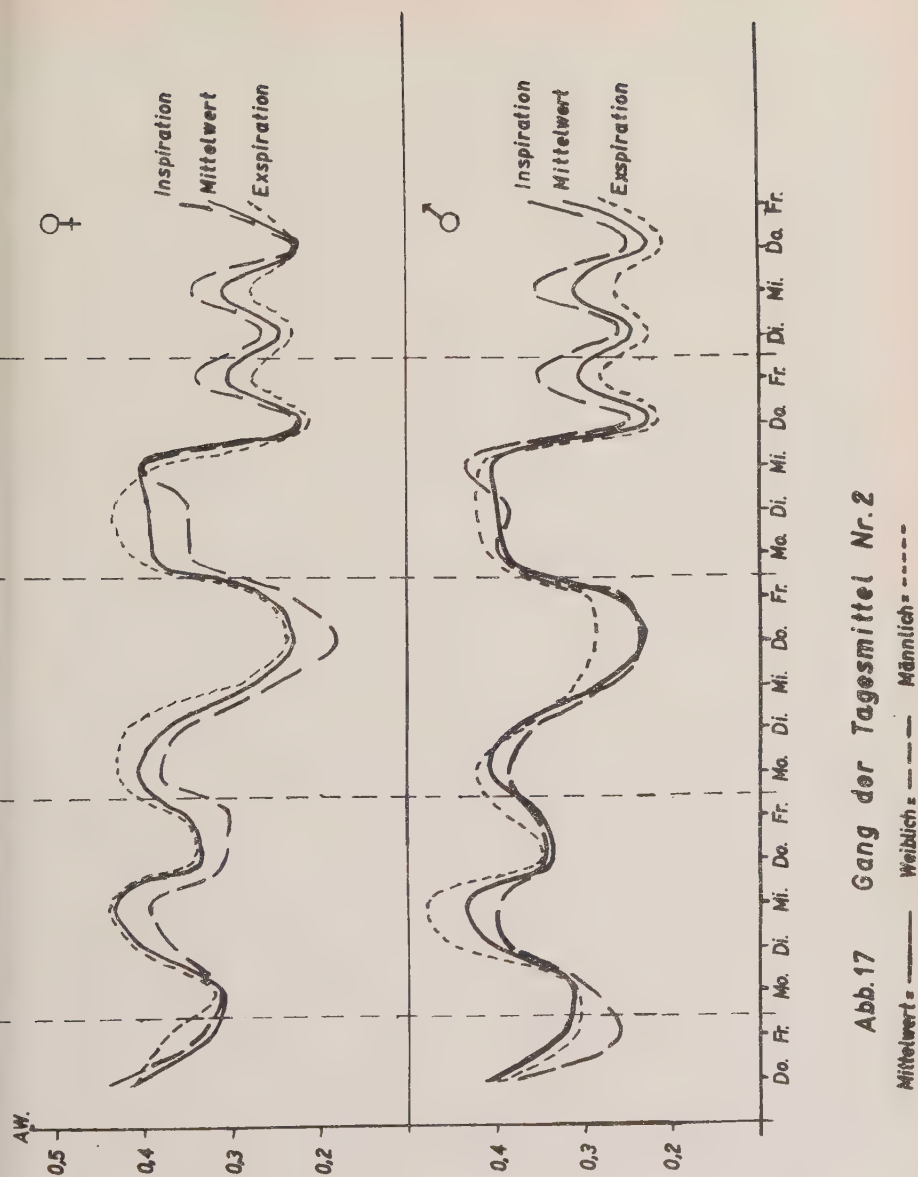


Abb. 17 Gang der Tagesmittel Nr. 2

Mittelwert: — Weiblich: - - - Männlich: ...

deswegen kann man nicht annehmen, dass das Alter bei dieser Aufteilung eine Rolle spielt.

Führt man für den Tagesgang eine doppelte Streuungszерlegung durch, einmal nach den Terminen, das andermal nach den Charakteristiken geordnet, so tritt auch noch eine Wechselwirkung zwischen den Terminen und den Charakteristiken auf.

Zur weiteren Rechtfertigung dieser Einteilung beachtet man, dass die Personen der Charakteristik 3 (stetig steigend) einen sehr hohen und diejenigen mit der Charakteristik 4 (stetig fallend) einen sehr niedrigen Durchschnittswert aufzeigen. Dazwischen liegen, sich überschneidend, die Personen mit mittags Maximum bzw. Minimum (Klasse 1 und 2).

In Abb. 15 sind die Mittelwerte des Tagesganges des in vier Charakteristiken aufgeteilten Personenkreises dargestellt.

Statistisch gesehen ergibt sich ein gesicherter Einfluss der Wechselwirkung zwischen den Terminen und den Charakteristiken. Deshalb muss der Einfluss eines jeden Termins und einer jeden Charakteristik gesondert untersucht werden.

Der Unterschied zwischen den Terminen ist durch die Aufteilung der Versuchspersonen nach ihren Charakteristiken in den Bereich der statistischen Sicherung gekommen.

Der Unterschied zwischen den Charakteristiken erscheint jetzt mit einem Wert von $F_{0,01} = 3,782$ sehr hoch gesichert.

Es wäre vielleicht angebracht, bei künftigen Untersuchungen diesen Effekt noch eingehend zu prüfen.

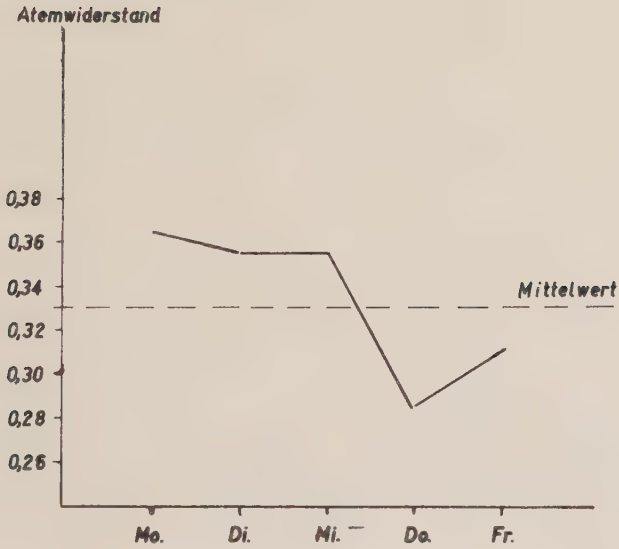


Abb. 18 Wochenrhythmus des Atemwiderstandes.

c) Wochenrhythmus.

Bei der Suche, ob der Atemwiderstand vielleicht einem Wochenrhythmus unterliegt, stellte sich heraus, dass die Werte am Montag immer am höchsten sind. Langsam abfallend erreichen sie am Donnerstag das Minimum um dann wieder anzusteigen. Dieses Verhalten des Atemwiderstandes ist in Abb. 18 veranschaulicht. Samstags und sonntags wurden keine Messungen vorgenommen, wodurch das Bild über den Wochengang nicht ganz geklärt werden konnte.

Statistisch gesehen ist die Sicherung vorhanden, da mindestens ein Wochentag von den anderen stark abweicht. Medizinisch gesehen scheint dem Wochenrhythmus keine grosse Bedeutung zuzukommen.

Zu erwähnen wäre vielleicht, dass die Untersuchung über einen Wochenrhythmus der gesundheitlichen Beschwerdeziffern am Mittwoch und Donnerstag ebenfalls ein schwaches relatives Minimum aufweisen. (D i r n a g l 11).

5. Untersuchungen zur Klärung der Frage nach Wetterabhängigkeit des Atemwiderstandes.

Die Angaben über das Wettergeschehen während der Versuchszeit wurden vom Bayerischen Wetterdienst in München zur Verfügung gestellt. Die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit des Raumes, in welchem die Versuche durchgeführt wurden, wurden durch einen dort aufgestellten Thermohygrographen registriert. Die Werte liegen für die Raumtemperatur zwischen 19 - 21°C und für die Feuchtigkeit zwischen 53 und 55 %.

Aus Bad Tölz lagen aus der Biometeorologischen Versuchs- und Beratungsstelle der "Wetterverlauf" während der Versuchsdauer vor, mit Angaben über die Wetterphasen und das Temperatur-Feuchte-Milieu.

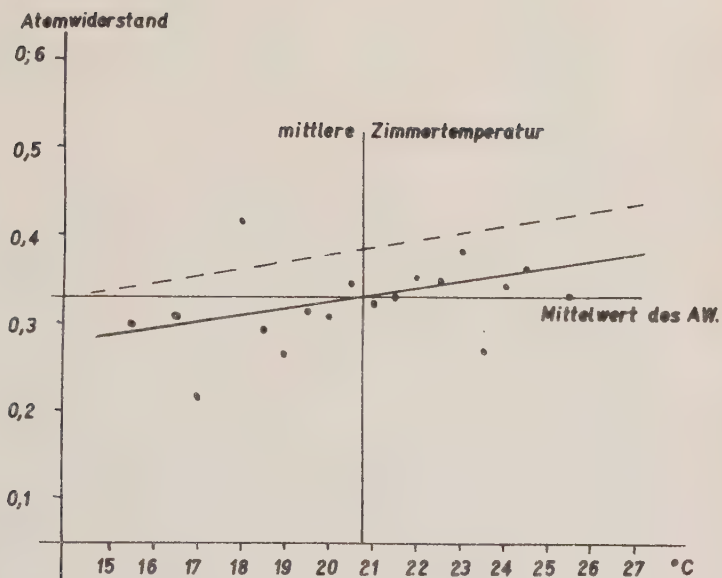


Abb.19 Abhängigkeit der Messwerte v. d. Zimmertemperatur.

(gewonnen aus 500 inspiratorischen Messwerten)

"Die Wetterphasen sind ein gewollt grobes Mass für das komplexe Wettergeschehen. Sie werden aus dem Gesamteindruck des Wettergeschehens und unter Heranziehung sämtlicher erreichbarer Beobachtungen festgelegt. Das Temperatur-Feuchte-Milieu ist eine aus den Temperatur- und Feuchteregistrierungen objektiv ermittelte Komplexgrösse, welche angibt, um wieviel Grad die Lufttemperatur von der nach Tages- und Jahreszeit 'normalen Wert' abweicht. Die Wetterphasen und das Temperatur-Feuchte-Milieu stehen in einer empirisch bekannten engen Beziehung zueinander." (zitiert nach dem Bericht aus Bad Tölz).

a) Temperatur.

In Abb. 20 sehen wir die Schwankungsbreite der Zimmertemperatur und der Aussentemperatur zusammen aufgetragen. Die Zimmertemperatur zeigt ziemlich konstante Werte zwischen $19 - 21^{\circ}\text{C}$. Die Werte der Aussentemperatur wurden vom Wetterdienst in München angegeben. Beide Kurven laufen symmetrisch, d. h. die Werte zeigen von der ersten bis Mitte der vierten Woche fallende Tendenz und steigen dann an. Es genügt also, wenn man zunächst versucht, einen Einfluss des Atemwiderstandes auf die Zimmertemperatur herauszuarbeiten. Es müsste sich dann eine ähnliche Abhängigkeit für die im Durchschnitt niedriger liegende Aussentemperatur ergeben.

Zu statistischen Untersuchungen über die Abhängigkeit des Atemwiderstandes von der Zimmertemperatur wurden 500 inspiratorische Messwerte verwendet (Abb. 19).

Man trägt in ein Koordinatensystem mit der Temperatur als Abszisse und dem Atemwiderstand als Ordinate die zusammengehörigen Wertepaare jeweils als einen Punkt ein. Die entstehende Punktwolke lässt sich durch eine Regressionslinie darstellen. Sie gibt uns die Abhängigkeit des Atemwiderstandes von der Zimmertemperatur an. Aus Abb. 19 sieht man, dass in dem Bereich von 15 bis

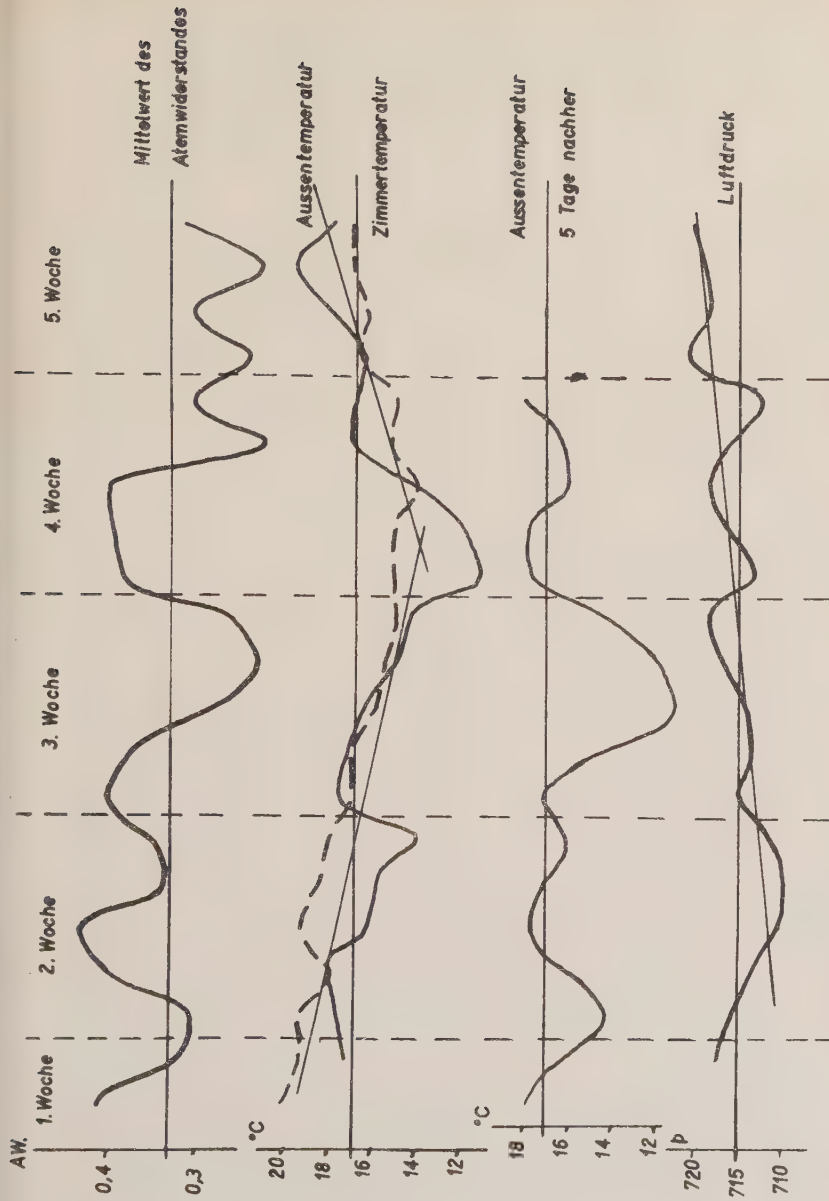


Abb. 20 Zur Korrelation von Atemwiderstand, Temperatur und Luftdruck.

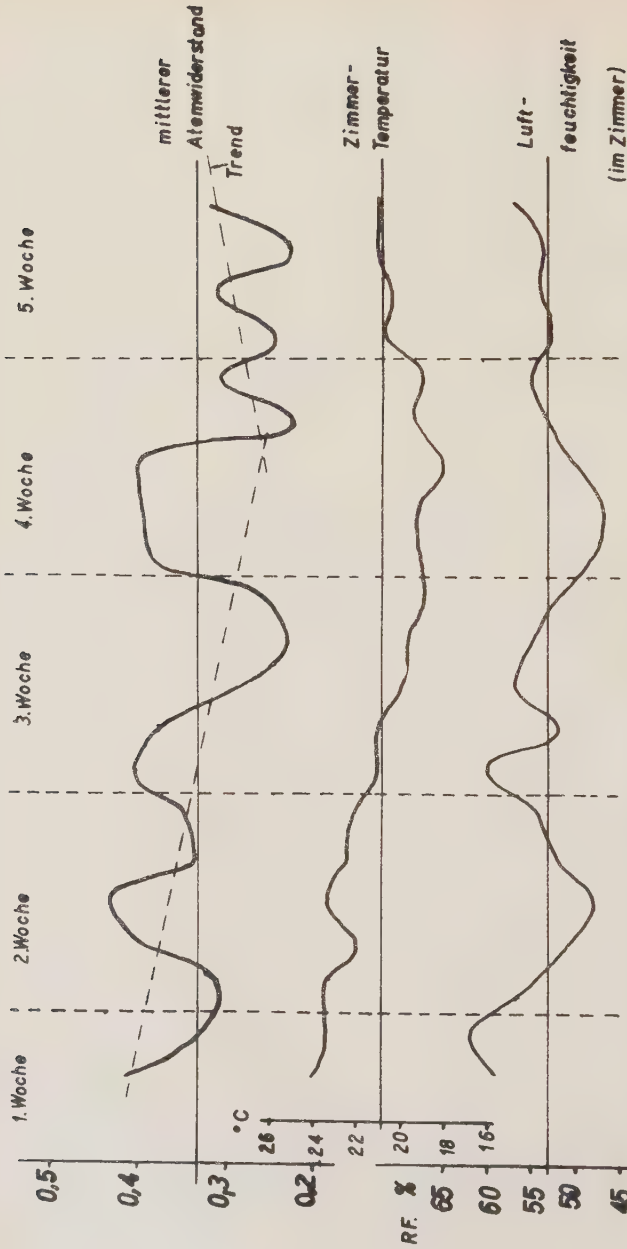


Abb. 21 Zur Diskussion des Atemwiderstandes von klimatischen Faktoren.

Mittelwerte aus 21 Versuchspersonen.

26°C der Atemwiderstand mit zunehmender Temperatur grösser wird. Die ~~ex~~spiratorischen Werte sind durch die schwarz gestrichelte Linie wiedergegeben. Die expiratorischen Werte liegen im Durchschnitt höher als die inspiratorischen, doch laufen sie parallel zueinander.

Erläuterung der Begriffe Regressionslinie und Bestimmtheit: Die Regressionslinie ist so beschaffen, dass für jeden Abszissenwert die mittlere quadratische Abweichung der einzelnen Punkte der Punktwolke von der Regressionslinie ein Minimum wird. Man erhält als Regressionslinie eine mehr oder weniger stark geneigte, gerade Linie. Der Winkel zwischen der Regressionslinie und der Abszissenachse ist der Regressionskoeffizient b .

Die Gesamtstreuung der Messwerte rührt von allen möglichen Einflüssen her, von denen der Messwert abhängig ist. Jede solche Abhängigkeit trägt in einem gewissen Masse zur Gesamtstreuung bei.

Das Verhältnis der Streuung der Messwerte (= Punkte der Punktwolke) um die Regressionslinie zur Gesamtstreuung nennt man die Bestimmtheit B .

Für die Regressionslinie über die Abhängigkeit der Messwerte von der Temperatur (Abb. 19) ergibt sich eine Bestimmtheit von $B = 0,124$; d. h. 12,4 % der Gesamtstreuung sind durch diese Abhängigkeit zu klären.

Wären alle Einflüsse auf den Messwert in Form von Regressionslinien aufgedeckt, so müsste die Summe der Streuungen um die Regressionslinien gerade die Gesamtstreuung ergeben.

Verschiebt man die Kurve der Aussentemperatur um fünf Tage nach links, wie in Abb. 20 eingezeichnet ist, sieht man eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit dem Gang der Mittelwerte. Ob dem aber eine wirkliche Be-

deutung zukommt, kann hier nicht entschieden werden. Es wäre vielleicht angebracht bei künftigen Untersuchungen darauf zu achten.

Das fehlende Wochenende macht sich wieder als störend bemerkbar.

Man könnte hier später noch spezielle Untersuchungen anknüpfen, um das hier Gefundene weiterhin zu sichern und eventuell auch auf andere Temperaturen übergehen, z.B. Aussentemperatur. Es ist ja bekannt, dass man im Winter schwerer atmet und der Atemwiderstand höhere Werte ergeben würde.

b) Luftfeuchtigkeit.

Bei der Untersuchung, in welcher Beziehung Luftfeuchtigkeit und Atemwiderstand stehen, konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. In Abb. 21 ist die Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet; gemeint ist die relative Feuchtigkeit im Zimmer. Allgemein weiss man von der Luftfeuchtigkeit, dass sie keinen Einfluss auf den Menschen hat (v. M u r a l t 36).

c) Luftdruck.

Der Luftdruck zeigte während der ganzen Versuchsdauer steigenden Verlauf, vergleiche Abb. 20.

Die Regression zwischen den Tagesmitteln der Messwerte und denen des Luftdruckes weist darauf hin, dass mit zunehmenden Luftdruck der Atemwiderstand abnimmt, wie aus Abb. 22 deutlich zu ersehen ist.

Abb. 20 vergleicht Atemwiderstand, Temperatur und Luftdruck. Es scheint als ob der Trend des Atemwiderstandes von der Temperatur und dem Luftdruck abhinge.

Der Trend ist dann abnehmend, wenn sich Temperatur und Luftdruck gegensinnig ändern und zunehmend, wenn sich

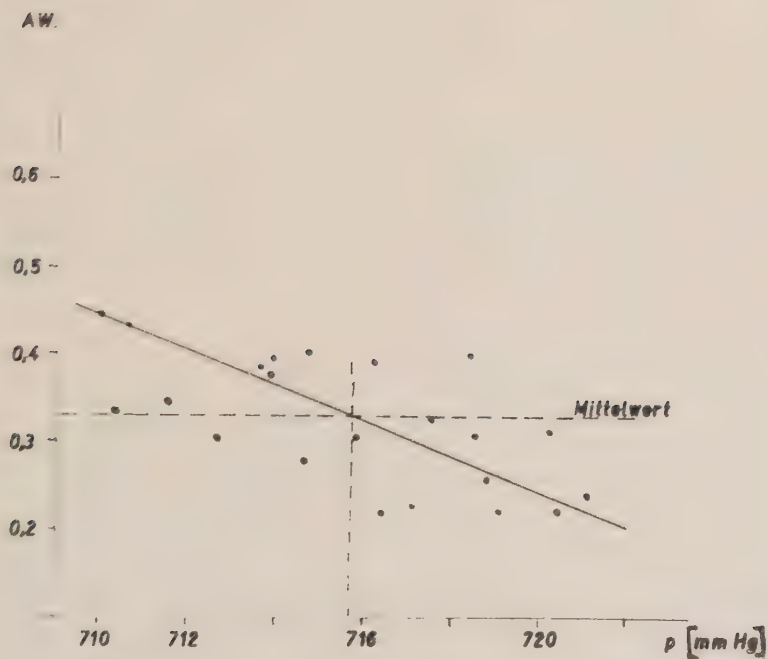


Abb.22 Verhältnis zwischen Atemwiderstand und Luftdruck.

Temperatur und Luftdruck gleichsinnig ändern.

Auffallend war auch, dass die inspiratorischen Atemwiderstandswerte grösser waren, sobald sich Temperatur und Luftdruck gleichsinnig änderten.

In Abb. 23 ist zuerst der Mittelwert des Atemwiderstandes mit dem Trend aufgezeichnet. Durch die Elimination von Luftdruck und Temperatur, wie die darunter liegende Kurve zeigt, verschwindet der Trend. Er bleibt dagegen erhalten, wenn man nur den Wochenrhythmus ausscheidet (dritte Kurve). Damit sind als Ursache für den Trend Temperatur und Luftdruck aufzufassen.

Der Grund der Spitzen in dem Kurvenzug nach Elimination von Luftdruck, Temperatur und Wochenrhythmus konnte in dieser Arbeit nicht geklärt werden. Da sie ungefähr bei Anwendung aller drei Korrekturen erhalten bleiben, scheinen andere meteorologische Faktoren eine Rolle zu spielen.

d) Frontendurchgänge, Gewitter.

Die Untersuchungen über den Einfluss von anderen meteorologischen Faktoren auf den Atemwiderstand, wie Bewölkung, Windstärke und Windrichtung ergaben keine Beziehung zwischen diesen.

Auch die Sonnenscheindauer beeinflusst den Atemwiderstand nicht.

Zur genauen Beurteilung einer Wirkung von Fronten und Luftmassen war das Material zu wenig differenziert.

e) Ultralangwellenstörungen.

Eine Abhängigkeit des Atemwiderstandes von Ultralangwellenstörungen und luftelektrischen Schwankungen konnte nicht festgestellt werden, da während der Dauer der Versuche vom Wetteramt in München keine Störungen gemessen wurden.

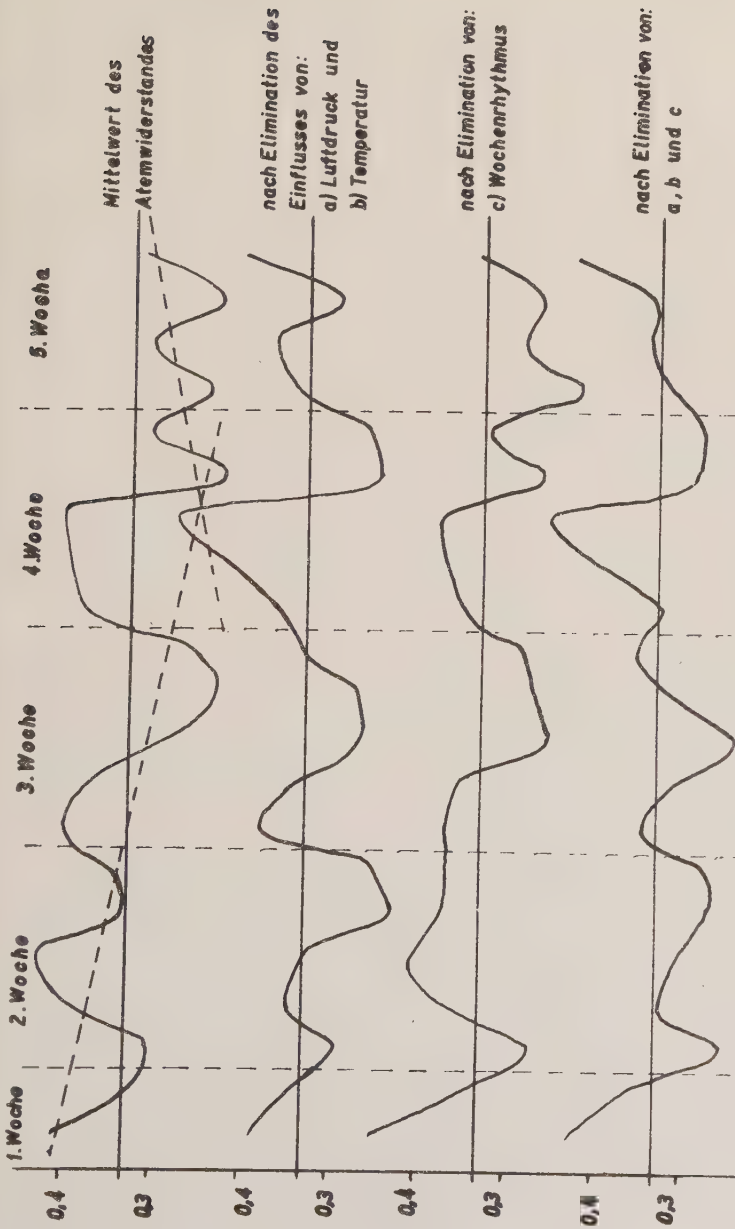


Abb. 23 Korrigierte Tagesmittel

Mittelwerte aus 21 Versuchspersonen.

Ebenso konnte auch ein möglicher Einfluss des Ozongehaltes der Luft nicht untersucht werden. Von der Vermutung einer biologischen Wirkung desselben ist man in letzter Zeit wieder etwas abgerückt.

f) Korrelation mit Bad Tölz.

Die Korrelation mit der Biometeorologischen Forschungsstelle in Bad Tölz wurde gewählt, um die mit einer korrespondierenden Bewölkungsdauer festgestellten Werte erfassen zu können.

Bei dieser Prüfung wurde der mittlere Atemwiderstand aller Versuchspersonen, also der allgemeine Mittelwert mit dem Wetterverlauf der Medizinisch - Meteorologischen Versuchsstelle in Bad Tölz verglichen. Der Wetterverlauf unterscheidet zwei wichtige meteorologische Grössen: erstens die Wetterphasen (mittleres Schönwetter, gesteigertes Schönwetter, föhnig übersteigertes Schönwetter, aufkommender Wetterumschlag, vollzogener Wetterumschlag, beginnende Wetterberuhigung) und zweitens das Temperatur-Feuchte-Milieu (gibt an um wieviel Grad die Lufttemperatur von dem tages- bzw. jahreszeitlichen Normalwert abweicht), Relativzahlen biologischer Wetterwirksamkeit nach Dr. U n g e h e u e r (vergleiche auch Seite 60).

Zur Auswertung erscheint diese Messreihe zu kurz und zu lückenhaft. Man müsste auch über das Wochenende hinweg Messungen vornehmen und ausserdem auch eventuell nachts einige Messwerte aufschreiben können.

Es möchte scheinen, als ob ein rascher Wechsel zwischen den Temperatur-Feuchte-Milieus fallende oder relativ niedrige Atemwiderstände zur Folge hat.

Bei länger anhaltendem Temperatur-Feuchte-Milieu 'trockener und kälter als normal' könnte man vermuten,

dass dann der Atemwiderstand steigende oder relativ hohe Werte aufweist.

H. Vergleich der eigenen Ergebnisse der Atemwiderstandsmessungen mit denen anderer Autoren.

Hier sollen die Werte des Atemwiderstandes unserer Versuchsreihe mit den Ergebnissen anderer Autoren verglichen werden. Um diesen Vergleich zu erleichtern, wurden alle Werte, auch die, welche in anderen Masseinheiten gemessen wurden, auf die in dieser Arbeit zu Grunde gelegten Masseinheit:

$$\frac{\text{Alveolardruck mm H}_2\text{O}}{\text{Strömungsgeschwindigkeit l}/\sqrt{\text{min}}} \quad \text{umgerechnet.}$$

Bei den Atemwiderstandsmessungen nach der Methode von D i r n a g l (10) fanden wir bei unseren Versuchspersonen einen allgemeinen Mittelwert von 0,3301 mit einer Schwankungsbreite von 0,137.

Der Mittelwert für die Inspiration beträgt 0,3235
und für die Expiration 0,3368.

V. N e e r g a r d und W i r z (38) haben bei drei normalen Personen einen mittleren expiratorischen Wert von 1,51 und einen inspiratorischen von 1,50 gemessen.

Diese Werte liegen sehr hoch, was wohl durch die sehr kleine Fallzahl und die von ihnen benutzte Methode der Verschlussdruckregistrierung zu erklären sein dürfte.

V u i l l e u m i e r (59) gibt einen mittleren Atemwiderstand von 0,55 an.

O t i s and P r o c t o r (39) fanden einen Mittelwert von 0,60.

P r o c t o r, H a r d y and M c L e a n (42) geben als Durchschnittswert bei 33 Normalmessungen den Widerstand mit 0,63 an. Der niedrigste Wert betrug 0,16 und der höchste 1,26.

S h e l d o n and O t i s (51) berechneten den Atemwiderstand bei zwei normalen Personen mit 0,33 und 0,6; im Mittel also 0,46.

J e k e r (30) stellte bei 65 Gesunden Atemwiderstandswerte von 0,15 und 0,50 fest. Sein mittlerer Wert liegt bei 0,37.

H i l l e r und E c k e n b e r g (28) haben mit der Methode nach D i r n a g l (10) einen mittleren expiratorischen Atemwiderstand von 1,22 und einen inspiratorischen von 1,10 gemessen.

Diese Werte liegen über dem von uns gefundenen Gesamtdurchschnitt, was wohl dadurch zu erklären ist, dass sich dieser Gesamtdurchschnitt hauptsächlich aus Personen mit Lungenerkrankheiten zusammensetzt.

J u n g e und H a s l r e i t e r (31) geben, nach Messung des Atemwiderstandes an 40 gesunden Personen, Werte zwischen 0,18 und 0,70 im Mittel an, mit einem Schwerpunkt bei 0,40. Sie bezeichnen expiratorische und inspiratorische Werte mit 0,70 als die oberste Grenze der noch als physiologisch geltenden Messwerte, sowohl für die Inspiration als auch für die Expiration. Sie schreiben:

"Die mit dieser Methode (nach Dirnagl) für den Atemwiderstand gemessenen Werte bei der einzelnen gesunden Versuchsperson bleiben über Monate hinaus unbeschadet äußerer Einflüsse im Rahmen einer 20 % Abweichung konstant."

Unsere Versuchsergebnisse stimmen mit den von S h e l d o n and O t i s (51); J e k e r (30) und J u n g e und H a s l r e i t e r (31) angegebenen Zahlen sehr gut überein und passen annähernd zu den Werten von V u i l l e u m i e r (59) und O t i s and P r o c t o r (39).

I. Zusammenfassung

1. Zuerst wurden die physiologischen Grundlagen der Atmung und des Lufttransportes, sowie der Beschaffenheit der Bronchialwand erörtert.

Dann wurde eine kurze Übersicht über die Entwicklung der Atemwiderstandsmessung gegeben. Nach den physikalischen Grundlagen werden die Bestimmung des Alveolardruckes, neuere Messmethoden, sowie verwandte Methoden besprochen. Zum besseren Verständnis wurde in einem Kapitel auf die statistischen Berechnungsmethoden eingegangen.

2. Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit wurde das von D i r n a g l (10) angegebene Gerät verwendet. Der Atemwiderstand wird festgestellt durch Veränderung des äusseren Pneumotachographenwiderstandes (am Gerät). Gleichzeitig wird das Pneumotachogramm, welches zur Berechnung benötigt wird, photographisch registriert.

3. Aufgabe der hier vorliegenden Arbeit war es, den Atemwiderstand an gesunden Versuchspersonen zu messen und dessen Schwankungsbreite zu untersuchen.

Die Untersuchungen haben folgendes Ergebnis erzielt:

- a) Der allgemeine Mittelwert des Atemwiderstandes beträgt $0,3301 \pm 0,137 \text{ mm H}_2\text{O/l min.}$
- b) Zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen besteht kein Unterschied.
- c) Bei der Überprüfung der Inspiration und Expiration zeigte sich, dass die expiratorischen Werte im allgemeinen höher sind als die inspiratorischen.

- d) Die Untersuchung der Raucher und Nichtraucher ergab kein eindeutiges Ergebnis, da für diese Untersuchung zu wenig Material vorhanden war.
- e) Im Alter besteht eine deutliche Zunahme des Atemwiderstandes.
- f) Die Vermutung, dass ein Tagesrhythmus vorliegt, konnte nicht eindeutig bestätigt werden. Für die Einzelperson ist ein Tagesrhythmus vorhanden, bei verschiedenen Personen verhält er sich aber unter Umständen gegenläufig.
- g) Nach unseren Untersuchungen unterliegt der Atemwiderstand auch einem Wochenrhythmus. Da jedoch samstags und sonntags keine Messwerte registriert werden konnten, konnte das Bild über den Wochengang nicht genau geklärt werden.
- h) Mit zunehmender Temperatur wird der Atemwiderstand sowohl inspiratorisch als auch expiratorisch grösser.
- i) Ein Zusammenhang zwischen der Luftfeuchtigkeit und dem Atemwiderstand besteht nicht.
- k) Mit zunehmendem Luftdruck nimmt der Atemwiderstand ab.
- l) Zwischen dem Atemwiderstand und meteorologischen Faktoren besteht anscheinend eine Abhängigkeit.

Zu Frontendurchgängen, Gewitter, Bewölkung, Windstärke und Windrichtung bestehen keine Beziehungen. Auch die Sonnenscheindauer beeinflusst den Atemwiderstand nicht, ebenso konnte auch kein Zusammenhang mit den Messwerten der Medizinisch-Meteorologischen Versuchsstelle in Bad Tölz ermittelt werden.

Jedoch besteht eine statistisch gesicherte Schwankung, die nicht mit dem Luftdruck, der Temperatur oder dem Wochenrhythmus zusammenhängt und deshalb auf andere meteorologische Faktoren zurückgeführt werden muss. Bisher

konnten diese Faktoren nicht ermittelt werden, da während der Versuchszeit z. B. Ultralangwellenstörungen, luftelektrische Schwankungen, Ozongehalt der Luft etc. nicht registriert wurden.

- m) Unsere Messwerte des Atemwiderstandes stimmen mit den von S h e l d o n and O t i s (51); J e k e r (30) und J u n g e und H a s l r e i t e r (31) angegebenen Zahlen sehr gut überein.

Herrn Privatdozenten Dr. med. F. E. S t i e v e ,
wissenschaftlicher Oberassistent des Institutes
und Poliklinik für Physikalische Therapie und
Röntgenologie der Universität München, bin ich für
die lebenswürdige Überlassung des Themas und die
Übernahme des Referates zu grossem Dank verpflich-
tet.

Für Anregungen, Unterstützung und Beratung, die mir
bei der Durchführung dieser Arbeit jederzeit zu
teil wurden, schulde ich Herrn Dr. med. F. E.
S t i e v e und Herrn Diplomphysiker K. D i r -
n a g l ganz besonderen Dank.

Herrn W. W e i c k h m a n n danke ich für seine
wertvolle praktische Beratung bei der umfangreichen
rechnerischen Auswertung der Versuchsergebnisse.

Den technischen Assistentinnen Frau M. V o g l
und Fräulein M a t t h i o l i u s sei für die
gewissenhafte Durchführung der Registrierarbeiten
gedankt.

Für die meteorologischen Angaben und Hinweise danke
ich dem Wetteramt in München und der Biometeorologi-
schen Versuchs- und Beratungsstelle in Bad Tölz.

S c h r i f t t u m

1. A n t h o n y, A.: Funktionsprüfung der Atmung.
Leipzig, Amrosius Barth, 1937
2. B a n g e, W.: Die Funktion der Lungenmuskulatur und die
Oberflächenspannung in den Alveolen und ihre Bedeutung
für den Alveolarspasmus.
Ärztl. Wschr. 18, 436 - 438 (1953)
3. B a u l e, B.: Die Mathematik des Naturwissenschaftlichen
Forschers und Ingenieurs.
Bd. II, Leipzig 1948
4. B e e r, P.: Eine Funktionsprüfung der Atmung II.
Dtsch. Arch. klin. Med. 165, 311 (1929)
5. B o e h m e, A.: Untersuchungen über Atemgrenzwert.
Beitr. Klin. Tbk. 91, 237 - 244 (1938)
6. B r a u e r, L. und W.: Einführung in die Spirometrie
und Ergometrie.
Beitr. Klin. Tbk. 94, 1504 (1940)
7. B r e t s c h g e r, H. J.: Die Geschwindigkeitskurve der
menschlichen Atemluft.
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiolog. 210, 134 - 148 (1925)
8. B u c h e r, K.: Reflektorische Beeinflussung der Lungen-
atmung.
Springer Verlag, Wien 1952
9. D i r k e n, M. N. I. und K r a a n, J. K.: Über die
Funktionsprüfung der Lungen.
Klin. Wschr. I, 634 - 636 (1937)

10. D i r n a g l, K.: Zur fortlaufenden Messung des Atemwiderstandes.
Zschr. f. Aerosol-Forschung 2, 4, 475 - 484 (1953)
11. D i r n a g l, K.: Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone.
Nr. 42, Bad Kissingen 1952
12. E n g l h a r d, A.: Eine Funktionsprüfung der Atmung I
Dtsch. Arch. Klin. Med. 165, 311 (1929)
13. E n g l m a n n: Das pneumotachographische Bild des Asthma bronchiale.
Dtsch. Arch. f. klin. Med. 157, 280 - 298 (1927)
14. F e l i x, W.: Anatomie der Atmungsorgane.
Hdb. d. norm. u. path. Physiologie v. Bethe, Bergmann u.a. 2, 37 (1925)
15. F l e i s c h, A.: Neue Ergebnisse über Mechanik und proprioceptive Steuerung der Atembewegung.
Erg. d. Physiol. 36, 249 (1934)
16. F l e i s c h, A.: Die Pneumotachographie.
Hdb. d. biolog. Arb. Meth. V, 8, 845 - 859
Verlag Urban & Schwarzenberg, Berlin
17. F l e i s c h, A.: Das Pneumotachogramm.
Erg. d. Physiol. 36, 278 (1934)
18. G e h l e n, H. van: Der Acinus der menschlichen Lunge.
Morpholog. Jb. 85, 186 (1940)
19. G u c k e l b e r g e r, N.: Zur Analyse des Pneumotachogramms.
Ztschr. f. d. ges. exp. Med. 113, 737 - 741 (1941)
20. G u c k e l b e r g e r, N.: Zur Dynamik der Atembewegung unter normalen Bedingungen.
Zschr. f. d. ges. exp. Med. 113, 742 - 754 (1944)

21. G u y e r, H.: Der Einfluss von Ruhe, Schlaf und verstärkter Lungenventilation auf das Pneumotachogramm.
Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiolog. 217, 516 - 520
(1927)
22. H a d o r n, W.: Ein neues Pneumometer zur Bestimmung des Expirationsstosses (maximale Ausatemungsstromstärke)
Schweiz. med. Wschr. 35, 946 - 950 (1942)
23. H a d o r n, W.: Über die Bestimmung des Expirationsstosses.
Zschr. f. klin. Med. 140, 266 - 290 (1942)
24. H a y e k, H. van: Die Menschliche Lunge.
Springer Verlag, Berlin 1953
25. H e i s s, R.: Der Atmungsapparat.
Hdb. d. Mikroskop. Anatomie des Menschen v. W. v.
Möllendorf, Bd. V, Springer Verlag 1936, 709 - 798
26. H e r r m a n n s e n, J.: Untersuchungen der maximalen Ventilationsgrösse (Atemgrenzwert).
Zschr. exp. Med. 90, 130 - 137 (1933)
27. H e r r m a n n, L.: Lehrbuch der Physiologie.
Berlin 1870, 153
28. H i l l e r, E. und E c k e n b e r g, E.:
Der Widerstand im Bronchialsystem bei Asthma bronchiale und bei anderen Erkrankungen und seine Beeinflussbarkeit durch Dihydroxylpropyl - Theophyllin (DHT).
Die Mediz. 21, 721 - 716 (1953)
29. J e d d e l o h, B. zu: Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Atembewegung (Untersuchungen mit der Pneumometrie und Pneumotachographie an Männern).
Zschr. f. d. ges. exp. Med. 102, 542 - 573 (1938)
30. J e k e r, K.: Die Bestimmung des Strömungswiderstandes im Bronchialsystem des Menschen.
Dissertation Bern 1953

31. J u n g e, W. und H a s l r e i t e r, E.: Die Bedeutung des Strömungswiderstandes der Bronchialwege bei der asthmatischen Dyspnoe.
Zschr. f. Aerosol-Forschung u. - therapie 4, 197 - 220 (1955)
32. K n i p p i n g, H.W. und R o n a, P.: Praktikum der physiologischen Chemie Teil III.
Springer Verlag, Berlin 1928
33. K r o g h, A.: Respirationsapparat für die klinische Bestimmung des Energieumsatzes beim Menschen.
Wien. klin. Wschr. 290 (1929)
34. L i n d e r, A.: Statistische Methoden.
Basel 1951
35. M a t h e s, H. U.: Die Bedeutung des Atemwiderstandes für die Messung des respirator. Stoffwechsels.
Arb. Physiol. 11, 117 - 128 (1940)
36. M u r a l t, v. A.: Klimaphysiologische Untersuchungen in der Schweiz, 1. Teil.
Verlag Benno Schwabe, Basel 1944.
37. M ü l l e r, E. A. und B a s t e r t, H.: Atemgrenzwert und Atemwiderstand.
Arb. Physiolog. 14, 1 - 8 (1949)
38. N e e r g a r d, v. K. und W i r z, K.: Die Messung der Strömungswiderstände in den Atemwegen des Menschen, insb. bei Asthma und Emphysem.
Zschr. f. klin. Med. 105, 51, 82 (1927)
39. O t i s, A. B. and P r o c t o r, O.F.: Measurement of Alveolar Pressure in Human Subjects.
Am. Journ. Physiolog. 1952, 106 - 112 (1948)
40. P f l ü g e r, E.: Das Pneumometer.
Pflüger's Archiv 29, 244 - 247 (1882)

41. P r o c t o r, D.F. and H a r d y, J.B.: Studies of
Respiratory Air Flow I.
Bull. Johns Hopkins Hosp. 85, 253 - 280 (1950)
42. P r o c t e r, D.F., H a r d y, J.B. and M c L e a n,
R.: Studies of Respiratory Air Flow II.
Bull. Johns Hopkins Hosp. 87, 255 - 288 (1950)
43. R a h n, G., O t i s, A.B., C h a d w i c k, L.E.
and F e n n, W.O.: The Pressure Volume Diagram of the
Thorax and Lung.
Am. Journ. Physiol. 146, 161 - 178 (1946)
44. R e i n H.: Einführung in die Physiologie des Menschen.
Julius Springer Verlag, Berlin 1921.
45. R e i n d l, H.: Untersuchungen über die Zusammenhänge
zwischen Atemwiderständen und Erkrankungen der Atemwege.
Dissertation München 1954.
46. R o h r e r, F.: Physiologie der Atembewegung.
Hdb. d. norm. u. pat. Physiol. II, Berlin 1925
47. R o h r e r, F.: Der Strömungswiderstand in den mensch-
lichen Atemwegen.
Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. 218, 698-707 (1927)
48. R o s s i e r, P.H., B ü h l m a n n, A. und W i e -
s i n g e r, K.: Physiologie und Pathophysiologie der
Atmung.
Springer Verlag, Berlin 1956
49. R u m p f: Pneumotachographische Untersuchungen an Ge-
sunden, Emphysematikern und Herzkranken im Bad.
Zschr. f. d. ges. Exp. Med. 101, 492 - 501 (1937)
50. S c h ö n d u b e, W.: Der Atemstoss, seine Messung und
klin. Wert.
Zschr. f. d. ges. exp. Med. 123, 538 - 552 (1954)

51. S h e l d o n, M.B. and O t i s, A.B.: Effect of Adrenalin on Resistance to Gas Flow in the Respiratory Tract and on Vital Capacity of Normal and Asthmatic Subjects. Jour. Appl. Physiol. 3, 513 - 518 (1951)
52. S n o w M i l l e r, W.: The Lung. Charles C. Thomas Verlag, Springfield Illinois (1950)
53. S o n n e, C.: Untersuchungen über die relative Weite der Bronchiolen bei der verschiedenen Luftspannung der Lungen. Acta med. scand. 58, 313 - 341 (1923)
54. S t ä h e l i n, R. und S c h ü t z, A.: Spirographische Untersuchungen an Gesunden, Emphysematikern und Asthmatikern. Zschr. f. klin. Med. 75, 15 - 32 (1912)
55. S t u r m: Lunge und vegetatives Nervensystem. Die Med. Welt 31/32, 969 - 973 (1951) und 33/34, 1030 - 1032 (1951)
56. S t u t z, E.: Bronchographische Beiträge zur normalen und pathologischen Physiologie der Lungen. Fortschr. Röntgenstr. 72, 129, 309, 447 (1949/50)
57. S u l z e r, R.: Über die Veränderungen der Atmung bei Stenose der Luftwege vor und nach Vagotonie. Schweiz. med. Wschr. 38, 916 - 920 (1951)
58. V i l m a r, K.: Atemwiderstandsmessungen und pneumotachographische Untersuchungen bei Silikose. Dissertation, München 1955
59. V u i l l e u m i e r, P.: Über eine Methode zur Messung des intraalveolären Druckes und der Strömungswiderstände in den Atemwegen des Menschen. Zschr. f. klin. Med. 143, 698 - 717 (1944)

60. W e b e r, J.: Untersuchungen zur Konstanz des Pneumotachogramms.
Zschr. f. d. ges. exp. Med. 105, 363 - 369 (1939)
61. W e n g l e r, S.: Über Spirometrie.
Pflüger's Archiv 95, 297 (1903)
62. W o r t h, G. und S c h i l l e r, E.: Die Pneumokoniosen.
Staufenverlag 1954
63. W y s s, F. und S c h m i d, F.: Beruht die bronchialasthmatische Dyspnoe auf einer Bronchialstenose?
Schweiz. med. Wschr. 38, 916 - 920 (1951)
64. W y s s, F.: Asthma bronchiale.
Thieme Verlag, Stuttgart 1955
65. W y s s, O. A. M.: Prinzipielle Betrachtungen über die Funktionsweise der Bronchialmuskulatur.
Schweiz. med. Wschr. 39, 988 - 990 (1952)

Lebenslauf.

Am 11. Oktober 1932 wurde ich Helga, Friederike, Karoline von Stettner-Grabenhofen, als Tochter des Polizei-Medizinalrates a. D. und praktischen Arztes Dr. Richard Ritter Stettner von Grabenhofen und seiner Ehefrau Friedl geb. Clemens, in Augsburg geboren.

Von 1939 bis 1943 besuchte ich in Augsburg die Volksschule und trat nach Abschluss der 4. Klasse in das A. B. von Stetten'sche Institut, Oberrealschule für Mädchen in Augsburg ein. An dieser Schule legte ich 1951 die Reifeprüfung ab.

Im Winterhalbjahr 1951/52 immatrikulierte ich mich an der humanmedizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität in München und legte dort im Frühjahr 1954 die ärztliche Vorprüfung ab. Ein klinisches Semester studierte ich an der Universität in Innsbruck.

Im Sommer 1957 werde ich in München mein Studium mit dem medizinischen Staatsexamen abschliessen.



